# Ueber die Optik der Griechen.

v. Prof. Dr. Emil Wilde. (Berlin 1832)

Die Untersuchungen der Griechen über die Eigenschaften des Lichtes waren, so viel sich aus der geringen Zahl der uns erhaltenen Schriften beurtheilen läßt, von nicht unbedeutendem Erfolge. Sie kannten die Grundgesetze, welche das Licht bei seiner Bewegung, und wenn es von polirten Oberflächen zurückgeworfen wird, befolgt, und versuchten nicht ohne Glück, die Optik und Katoptrik unter die Herrschaft der Mathematik zu bringen, und das erste Fundament zu jenem bewunderungswürdigen Gebäude zu legen, das durch Newton, Euler, Klügel und Herschel vollendet wurde. Die glanzvollste Epoche der Griechischen Optik fällt ungefähr in die Mitte des dritten Jahrhunderts v. Chr. In dieser Zeit geschah es, daß Euklides zuerst die vom Lichte befolgten Gesetze dem Kalkul unterwarf, und daß, wenn man anders den Nachrichten des Anthemius, Zonaras und Tzetzes Glauben beimessen darf, Archimedes die Katoptrik so sehr vervollkommnete, daß er die erstaunenswerthesten Wirkungen mit seinen Spiegeln hervorbrachte. Die folgenden Optiker verließen den von diesen Männern betretenen Weg, und wir sehen daher die Optik in einer Zeit von mehr als tausend Jahren, bis auf den Arabischen Optiker Alhazen in tiefe Vergessenheit versunken. Doch um dem Urtheile der Leser nicht vorzugreifen, will ich die optischen Schriftsteller der Griechen, mit Beachtung der Zeitfolge, einzeln durchgehen *).

## Die Meinungen der Griechischen Philosophen über das Licht.

### Nach Plutarch.

Eine reichhaltige Quelle für die Hypothesen der älteren Griechischen Philosophen über die Natur des Lichtes findet man in der Schrift des Plutarch περὶ τῶν ἀρεσκόντων τοῖς φιλοσόφοις, über die Meinungen der Philosophen. Sie besteht aus fünf Büchern, in denen Plutarch die Ansichten der Griechischen Philosophen über Gegenstände der Physik und Metaphysik erzählend mittheilt. In dem 15ten Kapitel des ersten Buches, welches von den Farben handelt, heißt die Farbe eine Eigenschaft des Körpers, die nur vom Auge wahrgenommen werde. Die Pythagoreer nannten die Oberfläche des Körpers seine Farbe. Empedokles ver-

*) Die wichtigsten Stellen aus den Griechischen Werken, welche die Optik betreffen, findet man gesammelt in Schneider's eclogis physicis, Jena und Leipzig, 1801. Der zweite Theil enthält die Erläuterungen. Auch findet man Einiges hievon, obgleich sehr unvollständig, auf den ersten Seiten von Priestley's Geschichte der Optik und in den Zusätzen von Klügel. Über den die Farben betreffenden Theil der Griechischen Optik handelt v. Göthe in seinem Werke: Zur Farbenlehre, Band 2, Seite 1—59.

steht darunter das den Poren des Auges Angemessene, damit Übereinstimmende. Plato nennt sie eine Flamme der Körper, deren Bestandtheile dem Gesichte entsprechen (φλόγα, σύμμετρα μόρια ἔχουσαν πρὸς τὴν ὄψιν). Zeno hält die Farben für die ersten Formen der Materie. Die Schüler des Pythagoras nahmen vier Grundfarben an: weiß, schwarz, roth und gelb, und erklärten die Verschiedenheit der Farben durch gewisse Mischungen der Elemente. Die Ursache der verschiedenen Farben bei den Thieren suchten sie in den Nahrungsmitteln und in dem Klima.

Eine merkwürdige Stelle steht in dem 5ten Kapitel des dritten Buches. Sie lautet also: „Wir sehen entweder nach geraden Linien, oder nach krummen (gebrochenen), oder nach zurückgeworfenen, die unkörperlich, und zwar nicht dem Auge, wol aber dem Verstande erkennbar sind. In geraden Linien sehen wir die Lufterscheinungen, auch was wir durch Steine, die durchsichtig sind, und durch Horn erblicken (alle diese Körper bestehen nämlich aus dünnen Schichten). Gebrochene Strahlen sehen wir im Wasser entstehen. Die Strahlen werden nämlich mit Gewalt durch das dichtere Mittel des Wassers von ihrer Richtung abgelenkt. Deshalb erblicken wir auch ein Ruder im Meere, wenn wir es von der Seite betrachten, gebrochen. Drittens sehen wir nach zurückgeworfenen Strahlen die Erscheinungen in den Spiegeln. Eine eben solche Bewandtniß hat es mit dem Regenbogen. Man muß sich nämlich vorstellen, daß sich die der Erde entsteigenden Dünste zu einer Wolke vereinigen, in der sich allmählig kleine Tropfen bilden. Wenn sich nun die Sonne ihrem Untergange nähert, so muß jeder Regenbogen ihr gegenüber erscheinen, weil die Strahlen, welche auf die Tropfen fallen, zurückgeworfen werden, wodurch eben der Regenbogen entsteht. In den Tropfen liegt aber nicht die Ursache der Gestalt, sondern der Farben des Regenbogens. Die erste unter den Farben ist die rothe, die zweite die orange; hierauf folgen die grüne und die blaue Farbe. Die rothe Farbe entsteht nämlich dadurch, daß das Licht der Sonne, das auf die Wolke fällt, ungeschwächt zurückgeworfen wird. Der zweite, durch die Tropfen mehr getrübte und geschwächte Theil des Sonnenlichtes giebt die orange Farbe, die nur ein schwächeres Roth ist. Das noch mehr geschwächte Licht geht endlich in die grüne Farbe über. Man kann jene Behauptung auch durch Versuche bestätigen. Wenn man Wasser in den Mund nimmt, und es der Sonne gegenüber ausspeiet, so entsteht ein Regenbogen, indem die Strahlen von den Tropfen zurückgeworfen werden. Eine ähnliche Erscheinung begegnet den Augenkranken, wenn sie in das Licht sehen."

Das dreizehnte Kapitel des vierten Buches handelt vom Sehen. Demokrit und Epikur glaubten, das Sehen erfolge durch das Ausströmen der Bilder aus den Augen; andere dagegen, die Ursache des Sehens sei das Ausströmen gewisser Lichtstrahlen, die, nachdem sie auf einen Gegenstand gefallen sind, wieder zum Auge zurückkehren. Hipparch sagt, daß die von beiden Augen ausströmenden Strahlen sich mit ihren Enden bis zu den äußeren Gegenständen erstrecken, und die Empfindung des Sehens ungefähr auf dieselbe Weise hervorbringen, wie wir durch das Getast der Hände das Vorhandensein eines Gegenstandes wahrnehmen. Plato behauptet nach seiner Theorie der Synaugie, das aus den Augen kommende Licht breite sich bis auf eine gewisse Entfernung in die gleichartige Luft aus, das Licht der Gegenstände dehne sich zugleich mit der Feuerkraft der Augen aus, und komme ihr ent-

gegen, die dazwischen befindliche Luft aber, die dünn sei und leicht weiche, entferne sich (gestatte dem Lichte den Durchgang) *).

In dem vierzehnten Kapitel des vierten Buches sagt Plutarch, die Bilder der Spiegel entständen nach Demokrit und Epikur dadurch, daß die von unseren Augen kommenden Bilder sich auf dem Spiegel auf die entgegengesetzte Seite wenden. Die Schüler des Pythagoras aber suchten ihre Entstehung in dem Zurückprallen der Opsis von dem Spiegel, die etwas Aehnliches erleide, wie wenn man eine Hand ausstrecke, und sie nach der Schulter zurückziehe.

Ich will nur noch einer Stelle aus dem Plutarch erwähnen, welche sich in seiner Schrift wider den Epikureer Kolotes findet **), worin er einer Äußerung des Epikur erwähnt, daß die Farben nicht etwa den Körpern eigenthümlich seien, οὐ συμφυῆ τοῖς σώμασιν, sondern daß sie bei gewissen Stellungen derselben gegen das Auge entstehen.

## Nach Diogenes Laertius.

Diogenes Laertius hat uns in seinen Biographien berühmter Philosophen eine Hypothese, die Art und Weise, wie wir sehen, betreffend, aufbehalten, die in der That der Wahrheit näher kommt, als irgend eine andere, welche ich bei den Griechischen Optikern gefunden habe. Sie findet sich in der Lebensbeschreibung Zeno's ***), und wird dort dem Chrysippus und Apollodorus zugeschrieben. Das Sehen erfolge nämlich, indem das Licht zwischen dem Auge und dem Gegenstande die Gestalt eines Kegels annehme, dessen Spitze am Auge und dessen Grundfläche am Gegenstande sei, und so kündige sich das Gesehene, indem die Luft sich wie ein Stab erstrecke, dem Auge an.

Vom Pythagoras sagt Diogenes ****), er habe behauptet, im Allgemeinen sei jeder Sinn, besonders aber das Gesicht, eine gewisse heiße Ausdünstung, vermittelst deren wir durch Luft und Wasser sehen; denn das Heiße werde von dem Kalten zurückgeworfen. Wäre die Ausdünstung der Augen kalt, so würde sie in die ähnliche Luft übergehen. An einer anderen Stelle nennt er die Augen Pforten der Sonne.

---

*) Diese Stelle, so wie die obige, die Hypothese des Hipparch betreffende, finden sich fast wörtlich in Νεμεσίου, φιλοσόφου καὶ ἐπισκόπου, περὶ φύσεως ἀνθρώπου, im Anfange des siebenten Kapitels, welches von dem Gesichte handelt. Nemesius wurde, nachdem er das Christenthum angenommen hatte, gegen das Ende des vierten Jahrhunderts Bischof von Emesa, einer Stadt in Cölesyrien. Ich habe übrigens in dieser Schrift durchaus nichts gefunden, das die damaligen irrigen Begriffe über die Optik auch nur im mindesten berichtigt hätte. Nur Folgendes will ich aus derselben anführen: „Die Geometer beschreiben gewisse Kegel, die durch das Zusammentreffen der aus den Augen kommenden Strahlen entstehen. Sie glauben nämlich, daß das rechte Auge Strahlen zur Linken, das linke aber zur Rechten entsende, und daß durch ihr Zusammentreffen ein Kegel gebildet werde, woher es auch komme, daß das Auge Vieles zugleich übersehen könne, daß es aber nur da, wo die Strahlen zusammentreffen, deutlich sehe."

Nemesius führt weiter an, daß Porphyrius in dem Buche περὶ αἰσθήσεως behaupte, die Ursache des Sehens sei weder ein von den Strahlen gebildeter Kegel, noch ein von den Gegenständen ausgehendes Bild, noch irgend etwas Anderes der Art, sondern die Seele sehe sich selbst in den sichtbaren Gegenständen, indem sie Alles, was da ist, enthalte.

**) Seite 1110 in der Ausgabe Plutarch's von Xylander. Frankfurt 1599 und 1620.

***) Lib. VII. cap. I. n. LXXXIV. ed. Kraus.

****) Lib. VIII. cap. I. n. XIX.

Einer der ältesten Optiker ist nach den Nachrichten, welche Diogenes *) mittheilt, Demokrit von Abdera (450 v. Chr.) gewesen. Er führt dort einen, wenige Nachrichten bei anderen Schriftstellern ausgenommen, ziemlich vollständigen Katalog der Schriften des Demokrit an, unter denen sich zwei auf die Optik beziehen. Die erste hat den Titel ἐκπετάσματα, worunter wol nichts anderes, als ein Werk über die Ausbreitung der Lichtstrahlen verstanden werden kann, obgleich es Chrysostomus Magnenus im Democritus reviviscens p. 18 unter No. 6. nur für explicationes mathematicae nimmt, was sich wol schwer vertheidigen läßt. Für ein optisches Werk hat es eben so wie Fabricius Bibl. Gr. Tom. II. p. 638 ed. Harles, wo er sich auf den Vitruv praef. lib. VII. bezieht, auch Montucla in der histoire des mathematiques Tom. I. part. I. Liv. III. pag. 141 genommen, wo er sagt: La perspective et l'optique lui durent aussi quelques-uns de leurs premiers traits etc. etc. Außer dem Werke der ἐκπετάσματα führt Diogenes noch eine ἀκτινογραφίη an, worüber Chrysostomus Magnenus p. 19 unter No. 13. sagt: Radiorum descriptio, sive de proiectionibus opticis et geometricis, et propagatione linearum physicarum **).

In der Lebensbeschreibung des Pyrrho ***) kommt folgende Stelle vor, die diesem Philosophen und seiner Schule beigelegt wird: „Nichts erscheint rein und an sich, sondern in Verbindung mit Luft und Licht, Wärme, Kälte, Bewegung, Ausdünstung und anderen Kräften. Der Purpur zeigt gegen die Sonne eine andere Farbe, als gegen den Mond und eine Leuchte; selbst unsere Farbe ist um Mittag eine andere, und eben so ist es mit der Sonne. Ein schwerer Stein sinkt im Wasser leicht unter. Entweder ist er an sich schwer, und wird durch das Wasser leicht, oder er ist an sich leicht, und wird durch die Luft schwer. Durch Ort, Lage und Entfernung erscheint das Große klein, das Viereckige rund, das Ebene erhaben, das Gerade gebrochen, das Blasse von einer anderen Farbe. Die Sonne sehen wir ihrer Entfernung wegen feurig, die Berge in der Ferne wie Nebel und eben, in der Nähe aber steil. Die Sonne hat bei ihrem Aufgange eine andere Farbe, als wenn sie sich hoch am Himmel befindet; derselbe Körper erscheint anders in einem schattigen Walde, als auf dem freien Felde. Der Hals der Taube spiegelt, je nachdem er anders gewendet wird, eine andere Farbe. Da wir alle diese Gegenstände nicht ohne Rücksicht auf Ort und Lage betrachten können, so kennen wir auch nicht ihre wahre Beschaffenheit."

Außer dem Plutarch und dem Diogenes Laertius hat uns auch Joannes Stobäus, ein Schriftsteller des fünften Jahrhunderts n. Chr., in seinen eclogis physicis et ethicis einige die Optik betreffende Aussprüche der älteren Griechischen Philosophen aufbehalten, die aber größtentheils schon von Plutarch angeführt sind, und um so mehr übergangen werden können, als man aus den bereits angeführten Stellen den Zustand der Optik vor Euklides zur Genüge wird beurtheilen können.

---

*) Lib. IX. cap. VII. n. XIII.

**) Man vergl. Klügel in seinen Zusätzen zu Priestley's Geschichte der Optik, pag. 25.

***) Lib. IX. cap. XI. n. IX.

## Aristoteles.

Unter den Philosophen des Alterthums hat wol keiner gründlicher und tiefer über das innere Wesen des Lichtes gedacht, als Aristoteles. Er hat seine Untersuchungen hierüber besonders in drei Abhandlungen niedergelegt, deren Titel sind: Ueber die Seele, über die Sinne und über die Farben. Auch findet sich mehreres hierher Gehörige in der 31sten Abtheilung seiner Probleme und in seiner Meteorologie. Aristoteles erkannte die großen Mängel der Theorieen seiner Vorgänger, er suchte, der eigenen Kraft vertrauend, einen Ausweg aus diesem Labyrinthe, und doch können wir ihm kaum so viel zugestehen, daß er sich in dem Gebiete der Optik irgendwo der Wahrheit auch nur genähert habe.

Das siebente Kapitel des zweiten Buches der Schrift über die Seele handelt ausschließlich von dem Lichte. Der Sinn dieser ganzen schon vielfach erläuterten Stelle ist dunkel. Aristoteles sagt nämlich, das Durchsichtige sei etwas, das nicht an und für sich sichtbar ist (den Grund des Sichtbarseins nicht in sich hat), sondern durch eine fremde Farbe, wie die Luft, das Wasser und viele andere Körper. Nicht als Luft und Wasser sind diese Körper durchsichtig, sondern weil ihnen etwas mit dem ewigen oberen Körper (der Sonne) gemeinsam ist. Das Licht aber ist die Verwirklichung des Durchsichtigen, insofern es durchsichtig ist; wo aber bloß das Vermögen, diesen Zustand anzunehmen, vorhanden ist, da kann auch Finsterniß sein*). Das Licht ist gleichsam die Farbe des Durchsichtigen, wenn es wirklich durchsichtig ist, sei es durchs Feuer oder durch den oberen Körper. Das Durchsichtige und das Licht ist weder ein Feuer, noch überhaupt ein Körper, noch der Ausfluß eines Körpers, sondern es ist die Gegenwart des Feuers oder eines anderen Körpers der Art in dem Durchsichtigen. Denn zwei Körper können nicht zugleich in einem sein. Weiterhin sagt er: Farbe ist das im Lichte Gesehene, weshalb sie auch nicht gesehen wird ohne Licht. Darin aber besteht das eigentliche Wesen der Farbe, daß sie das wirklich Durchsichtige, wie die Luft, in Bewegung setzt. Könnte Jemand etwas, das eine Farbe hat, unmittelbar auf das Auge setzen, so würde er es nicht sehen, weil alsdann das Medium zwischen dem gefärbten Körper und dem Gesichtsorgan fehlen würde, gerade so wie das Ohr keinen Ton vernehmen könnte, wenn der ertönende Körper dies Organ unmittelbar berührte. Demokrit hat daher Unrecht, wenn er glaubt, daß man, wenn der Zwischenraum leer wäre, selbst eine Ameise deutlich am Himmel sehen würde. Dies ist deshalb unmöglich, weil das Sehen nur dadurch, daß das Gesichtsorgan etwas erleidet, erfolgen kann. Von der gesehenen Farbe aber kann dies nicht ausgehen, sondern allein von dem Zwischenraume. Wäre dieser also leer, so würde man nicht nur nicht eine Ameise, sondern überhaupt gar nichts sehen.

*) Im Texte steht: φῶς ἐστιν ἡ τούτου ἐνέργεια τοῦ διαφανοῦς, ᾗ διαφανές· δυνάμει δὲ ἐν οἷς τοῦτό ἐστι, καὶ τὸ σκότος, und bald nachher: ἡ δ' ἐντελέχεια τοῦ διαφανοῦς φῶς ἐστι. Herr v. Göthe übersetzt diese Stelle so: „Licht ist der actus des Durchsichtigen als Durchsichtigen. Worin es sich aber nur potentia befindet, da kann auch Finsterniß sein.“ Aristoteles scheint mir Folgendes sagen zu wollen: die Luft ist nicht an und für sich durchsichtig, sondern sie wird es erst durch das Licht. Die Wirkung des Lichts besteht also darin, daß es dasjenige, was der Durchsichtigkeit fähig ist, wirklich durchsichtig macht. Eben diese, der Durchsichtigkeit fähige Luft kann aber auch, wie dies des Nachts der Fall ist, finster sein.

In der Schrift über die Sinne handelt das zweite Kapitel von dem Gesichte. Aristoteles erklärt sich hierin gegen den Empedokles und den Plato im Timäus, welche behauptet hatten, daß das Auge feuriger Natur sei, und daß das Sehen erfolge, indem das Licht aus dem Auge, wie aus einer Laterne, ausströme. Wenn das Auge feuriger Natur ist, sagt er, warum sehen wir nicht auch im Finstern? Er erklärt sich vielmehr für die Ansicht des Demokrit, daß das Innere des Auges wässerig sei. Das Innere des Auges müsse nämlich durchsichtig sein, weil sich der Gesichtsnerv an der hinteren Seite desselben befindet. Daß diese innere durchsichtige Masse des Auges aber Wasser sei, sehe man schon an dem wässerigen Ausflusse, der sich bei Augenkrankheiten zeige.

In dem dritten Kapitel dieser Schrift handelt er von den Farben. Nach Aristoteles macht das Durchsichtige, insoweit es den Körpern inwohnt (es ist aber in allen mehr oder weniger vorhanden), sie der Farbe theilhaftig. Da nun aber die Farbe in der Grenze des Körpers ist, so ist sie auch in der Grenze des Durchsichtigen, so daß also die Farbe die Grenze des Durchsichtigen in einem begränzten Körper wäre. Den durchsichtigen Körpern, wie dem Wasser, und was sonst der Art ist, und was eine eigene Farbe zeigt, allen wohnt sie bei in dem Äußersten. Zuweilen ist in dem Durchsichtigen das, was auch in der Luft Licht bewirkt, vorhanden, zuweilen aber nicht; so wie also dort bald Licht, bald Finsterniß ist, so entsteht auch in den Körpern das Weiß und das Schwarz. Weiß und Schwarz sind nun nach Aristoteles Grundfarben. Über die Entstehung der anderen Farben theilt er folgende Ansicht mit. Er sagt, das Weiß und Schwarz könne neben einander gelegt werden, so daß jedes von beiden seiner Kleinheit wegen unsichtbar, das aus beiden Zusammengesetzte aber sichtbar wird. Dies kann aber weder weiß, noch schwarz sein. Da es jedoch eine Farbe haben muß, keine aber von beiden haben kann, so muß es etwas Gemischtes sein. So kann man außer dem Weiß und Schwarz mehrere Farben entstehen lassen, viele aber auch durch Verhältnisse. Denn wie drei zu zwei, oder wie drei zu vier, oder wie zwei andere ganze Zahlen können sie neben einander liegen. Andere wieder können durch ein inkommensurabeles Verhältniß entstehen. Die Farben aber, welche nach Zahlen, die sich leicht berechnen lassen, nach einfachen Verhältnissen (ἐν ἀριθμοῖς εὐλογίστοις) gemischt sind, scheinen, wie die Konsonanzen in der Musik, die angenehmsten zu sein, wie Purpur und Scharlach, und wenige andere der Art. Deshalb gebe es auch nur wenige Konsonanzen in der Musik. Dies sei die eine Art, wie die Farben entstehen könnten. Eine andere sei die, daß eine durch die andere hindurchscheine, wie zuweilen die Maler eine Farbe über eine andere hellere streichen, wie wenn sie etwas im Wasser oder in der Luft wollen erscheinen lassen, und wie die Sonne zwar an und für sich weiß sei, aber durch Nebel und Rauch roth aussehe. Zu sagen aber, wie die Alten, daß die Farben Ausflüsse seien, und daß man einer solchen Ursache wegen sehe, ist unstatthaft; denn die solches behaupten, müssen annehmen, daß Alles durch Berührung empfunden werde, so daß es besser sei, zu sagen, die Empfindung des Sehens erfolge durch eine Bewegung des Mittels zwischen dem Gesichte und dem Gesehenen, als durch Berührung und durch Ausflüsse*). Aristoteles sucht endlich drittens eine Hauptursache der Verschiedenheit der

*) Diese Stelle ist wol die beachtenswertheste der ganzen Schrift, weil sie zeigt, daß dem Aristoteles die Vibrations-Theorie nicht nur nicht fremd gewesen sei, sondern daß er ihr sogar den Vorzug vor der Emanations-Theorie gegeben habe.

Farben darin, daß die sehr kleinen Theile der einfachen Farben weder neben einander, noch über einander liegen, sondern daß sie ein inniges, sich einander aufs vollkommenste durchdringendes Gemisch bilden.

Im vierten Kapitel sagt er: So wie die Farben aus der Mischung des Weißen und Schwarzen entstehen, so entstehen die verschiedenen Arten des Geschmackes aus der Mischung des Süßen und Bitteren. Der Geschmack des Fettigen kommt mit dem des Süßen überein; das Salzige und Bittere sind beinahe dasselbe; der beißende, herbe, sauere und scharfe Geschmack liegen in der Mitte zwischen dem Süßen und Bitteren. Beinahe eben so verhält es sich mit den Farben. Man könnte bei beiden sieben verschiedene Arten annehmen, wenn man nämlich das Graue als ein geschwächtes Schwarz ansieht. Alsdann wäre die gelbe Farbe zur weißen, so wie das Fettige zum Süßen zu rechnen. Die Purpurfarbe, die rothgelbe, die grüne und die blaue liegen in der Mitte zwischen dem Weißen nnd Schwarzen, die übrigen aber sind aus diesen gemischt; und so wie das Schwarze eine Abwesenheit des Weißen in dem Durchsichtigen ist, so ist das Salzige und das Bittere eine Abwesenheit des Süßen in dem nährenden Feuchten. Deshalb ist die Asche verbrannter Körper bitter, weil ihr das Feuchte genommen ist.

Die Schrift über die Farben besteht aus sechs Kapiteln. Das erste handelt von den einfachen, das zweite von den zusammengesetzten Farben, das dritte über die Unbestimmbarkeit der Anzahl der Farben, das vierte über die gefärbten Körper, das fünfte über die Farben der Blüthen und Früchte, und das sechste über die Farben der Haare und Federn. Eine vollständige Übersetzung dieser Schrift zu liefern, möchte schon deshalb unnöthig sein, weil sich nichts darin findet, das uns eine bessere Meinung von der Farbentheorie des Aristoteles beibringen könnte. Seine Hauptgedanken aber und besonders die Definitionen will ich auszugsweise anführen. Zu den einfachen Farben rechnet hier Aristoteles die weiße, gelbe und schwarze. Er sagt, einfache Farben seien die, welche bei den Elementen, dem Feuer, der Luft, dem Wasser und der Erde gefunden werden. Denn Luft und Wasser seien von Natur weiß, das Feuer aber und die Sonne gelb; die Erde sei gleichfalls von Natur weiß, und zeige sich nur durch die Färbung anderer Körper vielfarbig. Man sehe dies besonders an der Asche; wenn das die Färbung bewirkende Feuchte verbrannt sei, werde sie weiß. Daß sie nicht völlig weiß sei, liege darin, daß sie noch durch den Rauch, der schwarz ist, gefärbt werde. Die schwarze Farbe aber begleite die Elemente, wenn sie in einander übergehen. Das Schwarze entstehe überhaupt auf dreierlei Weise, entweder erscheine, was nicht gesehen wird, wenn der umgebende Raum sichtbar ist, schwarz, oder dasjenige, wovon gar kein Licht zu den Augen gelangt, oder endlich alles das, wovon das Licht nur schwach und sparsam zurückgeworfen wird. Im letzteren Falle befänden sich die Schatten, ferner das Meer beim Sturme, indem wegen der rauhen Oberfläche des Meeres nur wenige Strahlen zurückgeworfen würden, und das Licht sich zerstreue. Daß aber die Finsterniß nicht eine Farbe, sondern nur Abwesenheit des Lichtes sei, sehe man besonders daraus, weil man nicht, wie bei dem übrigen Sichtbaren, die Gestalt des Finstern erkennen könne.

Die zusammengesetzten Farben entständen durch die Mischung der einfachen, oder durch das Mehr und Weniger. Durch das Mehr und Weniger entständen die blaurothe und gelb-

rothe (τὸ φοινικοῦν καὶ τὸ ἁλουργόν), durch die Mischung z. B. aus Weiß und Schwarz die graue Farbe. Wenn man Schwarzes mit dem Lichte der Sonne oder des Feuers mischt, so sehe man die blaurothe Farbe entstehen, so wie denn überhaupt das Schwarze, wenn es entzündet wird, in die blaurothe Farbe übergehe, wie dies z. B. bei den Kohlen der Fall sei. Mischt sich aber mäßiges Weiß und Schwarz mit schwachen Sonnenstrahlen, so entstände die gelbrothe Farbe, wie man dies unter anderen an der Morgen- und Abenddämmerung sehe.

Ich will nur noch anführen, daß Aristoteles die Hauptursache der Farben der Früchte in dem Einflusse des Sonnenlichtes, die der verschiedenen Haare und Federn aber in dem der Nahrungsmittel suche.

Aus der Meteorologie gehören hieher das zweite, dritte und vierte Kapitel des dritten Buches, in denen Aristoteles von dem Regenbogen, den sogenannten Höfen und von den Nebensonnen handelt. Der Hof, sagt er, ist gewöhnlich ein vollständiger Kreis, der sich entweder um die Sonne, oder den Mond, oder um glänzende Sterne zeigt. Man sieht ihn sowol des Nachts, als auch bei Tage, des Morgens aber und bei dem Untergange der Sonne seltener. Der Regenbogen aber ist nie größer, als ein Halbkreis, und zeigt diese Gestalt nur beim Auf- oder Untergange der Sonne. Je mehr sich aber die Sonne erhebt, desto kleiner wird sein Umfang, obgleich er selbst einem um so größeren Kreise angehört. Im Sommer kann er des Mittags in Griechenland nicht entstehen; nach dem Herbstäquinoktium aber kann man ihn zu jeder Stunde des Tages dort sehen. Nie aber zeigen sich zugleich mehr als zwei Regenbogen. Bei beiden unterscheide man drei verschiedene Farben, bei dem äußeren seien sie matter, auch sei ihre Folge der bei dem inneren entgegengesetzt. Aristoteles berichtigt ferner die Meinung derer, welche glauben, daß es keine Mond-Regenbogen gebe. Sie seien allerdings vorhanden, jedoch seltener, indem sie sich nur beim Auf- oder Untergange des Vollmondes unter Umständen, die selten zusammenträfen, ereignen könnten. In mehr als funfzig Jahren habe er ihn nur zweimal beobachtet. Alle diese Erscheinungen erklärt er durch eine Zurückwerfung der Lichtstrahlen unter verschiedenen Umständen.

## Die Optik des Euklides.

Ich komme auf das unstreitig wichtigste Werk über die Optik, welches uns aus dem Alterthume erhalten ist, auf die Optik des Euklides. Man hat dieses Werk, das in zwei besondreren Abhandlungen die Anwendung der Mathematik auf die Optik und Katoptrik zeigt, für unwürdig des großen Geometers gehalten, weil einige Sätze nicht bestimmt genug angegeben sind, andere anffallende Unrichtigkeiten enthalten, und weil man überhaupt auch die systematische Ordnung, durch welche sich die Elemente eben dieses Verfassers so sehr auszeichnen, darin vermißt, wozu noch kommt, daß in allen Handschriften ἐκ τοῦ Θέωνος ἐκδόσεως oder ἐκ τῶν Εὐκλείδου συνουσιῶν steht. Schon Bartholin, der Herausgeber des Buches über die Optik des Heliodor von Larissa, dessen ich hernach erwähnen werde, bemerkt, daß dieses Werk nicht dem Euklides, sondern dem Theon gehöre. Bartholin bezeichnet diesen Theon nicht näher, vermuthlich meint er aber denselben, der auch einen Kommentar über den Almageſt

geſt

gest geschrieben hat *). Vergleicht man aber aus den vorhin mitgetheilten Stellen den Zustand, in welchem Euklides die Optik vorfand, mit dem, was in diesem Werke geleistet wird, so verliert gewiß bei jedem billigen Beurtheiler der erste Grund gegen die Ächtheit der Schrift sehr viel von seiner Wahrscheinlichkeit. Während seine Vorgänger nichts als unhaltbare Hypothesen aufzustellen vermochten, finden wir hier die Gesetze, welche das Licht befolgt, mit mathematischer Schärfe entwickelt. Was aber den zweiten Grund betrifft, so stehen die angeführten Worte auch oft vor den Elementen des Euklides, und man kann deshalb wol nichts Anderes hieraus entnehmen wollen, als daß Theon die Werke des Euklides herausgegeben habe. Auch Kepler **) ist der Meinung, daß wenigstens die angeführten Gründe die Ächtheit dieser Schrift nicht bezweifeln lassen. So viel ist gewiß, daß es nur die Idee eines ausgezeichneten Kopfes sein konnte, das Licht, dessen Mechanik so wesentlich von der aller übrigen Körper verschieden ist, dem Kalkul zu unterwerfen, so ungenügend auch immer der erste Versuch ausfallen mochte. Doch möge der Leser selbst den Werth dieser Schrift, deren Sätze ich in derselben Art und Folge, wie sie im Originale stehen, angeben werde, beurtheilen. Ich lege die Ausgabe der sämmtlichen Werke des Euklides von David Gregory, Oxford 1703, zum Grunde.

Die Erfahrungssätze, auf welche Euklides seine Optik gründet, sind folgende:

1) Die aus dem Auge kommenden Strahlen gehen in geraden Linien fort, und haben eine gewisse Entfernung von einander.

2) Die von den Strahlen eingeschlossene Figur ist ein Kegel, der seinen Scheitel im Auge, und seine Grundfläche auf der Grenze der sichtbaren Gegenstände hat.

3) Nur diejenigen Gegenstände sind sichtbar, zu denen die Strahlen des Auges gelangen; unsichtbar sind diejenigen, zu denen die Strahlen nicht gelangen.

4) Diejenigen Gegenstände, die unter einem größeren Winkel gesehen werden, erscheinen größer; die aber unter einem kleineren Winkel gesehen werden, kleiner.

5) Gegenstände, die unter gleichen Winkeln gesehen werden, erscheinen gleich groß.

6) Das unter höheren Strahlen Gesehene erscheint höher, das unter niedrigeren Gesehene niedriger.

7) Das unter mehr rechts gelegenen Strahlen Gesehene erscheint mehr rechts, das unter mehr links gelegenen Strahlen Gesehene mehr links gelegen.

8) Was unter mehreren Winkeln gesehen wird, erscheint deutlicher.

Aus diesen Sätzen, welche Euklides für unbestreitbare Thatsachen hält, leitet er die folgenden ein und sechzig Theoreme her. Seine Beweise herzusetzen, würde mich zu weit führen; nur da, wo es zur Erklärung eines Satzes nöthig scheinen sollte, werde ich auch den Beweis geben.

---

*) Man vergleiche Schneider's eclog. phys. Tom. II. pag. 204 u. d. f.

**) Epistolae ad Joannem Keplerum. Epistola CLII. Joan. Keplerus Joanni Georgio Brenggero. Es heißt hier: Euclidis Catoptrica νοθεύειν arguis, meo judicio perperam. Verba tersa, nitida, emuncta, imo tornata, demonstrationes rotundae et breves, distinctio diligens inter assumpta et ex assumptis demonstrata. Itaque non est, ut ais, turpis lapsus, ex assumpto falso videre quid sequatur: sed et confessio obscuritatis naturae: falsum assumere, aut si error, non certe incredibilis in Euclide, qui cum sua aetate de ὄψεσι philosophatur ad captum hominum illorum.

2

Theor. 1. Kein sichtbarer Gegenstand wird zugleich ganz gesehen.

Der Beweis wird für diesen Satz, wie für die folgenden, in mathematischer Weise und Strenge geführt. Es sei, sagt Euklides, ΑΔ der sichtbare Gegenstand, das Auge befinde sich in Β, von welchem nach dem Gegenstande die Strahlen ΒΑ, ΒΓ, ΒΚ, ΒΔ ausgehen. Da nun die Strahlen eine gewisse Entfernung von einander haben, so können sie nicht stätig auf den Gegenstand ΑΔ fallen. Es sind daher in ΑΔ gewisse Stellen, zu denen die Strahlen nicht gelangen werden. Deshalb kann ΑΔ nicht zugleich ganz gesehen werden. Gleichwol glaubt man den Gegenstand ganz zu sehen wegen der Schnelligkeit, mit welcher sich die Lichtstrahlen bewegen.

Man sieht auf den ersten Blick, daß dieser Satz unrichtig sei, und zwar aus einem zwiefachen Grunde, einmal, weil die Strahlen nicht von dem Auge ausgehen, und dann auch, weil ein leuchtender Punkt nicht einen einzelnen Strahl, sondern einen Strahlenkegel zum Auge entsendet.

Theor. 2. Von gleichen Größen, die ungleich vom Auge entfernt sind, sieht man die näher gelegenen deutlicher.

Theor. 3. Jeder leuchtende Gegenstand wird bei einer gewissen Größe der Entfernung nicht mehr gesehen.

Den Beweis dieses Satzes führt Euklides folgendermaaßen: In Β sei das Auge, der leuchtende Gegenstand sei ΓΔ. Ich sage, daß ΓΔ, wenn es sich in einer gewissen Entfernung befindet, nicht mehr werde gesehen werden. Aus dem Auge Β ziehe man die Strahlen ΒΓ, ΒΔ, so wird, wenn ΓΔ oberhalb nach Κ versetzt wird, die Größe Κ von den Strahlen ΒΓ und ΒΔ nicht erreicht werden. Wohin aber die Strahlen des Auges nicht gelangen, dies kann nicht gesehen werden (Erfahrungss. 3.), daher giebt es u. s. w.

In einem Zusatze sagt er: Sollte Jemand einwenden, daß, wenn gleich die Strahlen ΒΓ und ΒΔ den Gegenstand Κ nicht treffen können, doch die dazwischen liegenden Strahlen ihn erreichen werden, so erwidere ich, daß der Gegenstand ΓΔ so weit vom Auge entfernt werden müsse, bis ihn auch diese Strahlen nicht mehr treffen können.

Euklides meint hier offenbar den bekannten Erfahrungssatz, daß ein Gegenstand, unter einem sehr kleinen Sehwinkel gesehen, undeutlich werde.

Theor. 4. Von gleichen, auf derselben geraden Linie genommenen Abständen erscheinen die aus einer größeren Entfernung betrachteten kleiner.

Theor. 5. Gleiche Größen, die ungleich entfernt sind, erscheinen ungleich, und diejenige stets größer, welche dem Auge näher ist.

Theor. 6. Parallele Linien aus der Ferne betrachtet, scheinen nicht dieselbe Entfernung von einander zu behalten.

Der Beweis ist mit großer Ausführlichkeit sowol für den Fall, wenn das Auge in einer Ebene mit den beiden Parallelen ist, als auch wenn es sich über oder unter ihrer Ebene befindet, geführt.

Theor. 7. Wenn auf einer geraden Linie gleiche Stücke, die nicht unmittelbar an einander, sondern in einiger Entfernung von einander liegen, aufgetragen werden, so erscheinen sie ungleich (das dem Auge näher gelegene größer, als das entferntere).

Theor. 8. Gleiche Größen, die ungleich vom Auge entfernt sind, werden nicht ihren Entfernungen proportional gesehen.

Euklides zeigt, ohne die Hilfe der Trigonometrie zu kennen, in einem weitläufigen geometrischen Beweise, daß das Verhältniß der größeren und kleineren Entfernung ein anderes sei, als das Verhältniß des größeren und kleineren Sehwinkels. Es ist dies der bekannte Satz: die Tangenten der Sehwinkel gleicher Größen, die sich in ungleicher Entfernung vom Auge befinden, und nicht die Sehwinkel selbst verhalten sich verkehrt wie die Entfernungen, der nach dem heutigen Zustande der Wissenschaft durch eine einzige Gleichung bewiesen wird.

Theor. 9. Quadrate, aus der Ferne betrachtet, erscheinen kreisförmig.

Theor. 10. Von Ebenen, die unter dem Auge liegen, erscheinen die entfernteren Theile höher.

Der Beweis ist auf den Erfahrungssatz 6. gegründet. Der durch das Auge gehenden Horizontal-Ebene, auf welche die Theile jener Ebenen bezogen werden, geschieht weder hier, noch in den übrigen, auf den Erfahrungssatz 6. gegründeten Theoremen, Erwähnung.

Theor. 11. Von Ebenen, die über dem Auge liegen, erscheinen die entfernteren Theile niedriger.

Theor. 12. Von Gegenständen, die nach vornhin sich erstrecken (τῶν εἰς τοὔμπροσθεν μῆκος ἐχόντων), treten die entfernteren, zur Rechten gelegenen Theile linkshin, die zur Linken gelegenen rechtshin hervor.

Dies Theorem, das ich, so wie dies überall geschehen ist, möglichst übereinstimmend mit dem Originale übersetzt habe, kommt im Wesentlichen mit dem Theorem 6. überein, nur daß der Ausdruck hier noch unbestimmter ist.

Theor. 13. Von gleichen Größen, die unter dem Auge liegen, erscheinen die entfernteren höher.

Aus dem Beweise geht hervor, daß Euklides solche Gegenstände meine, die in gleicher Tiefe in Vertikal-Ebenen, welche durch das Auge gehen, liegen.

Theor. 14. Von gleichen Größen, die höher liegen, als das Auge, erscheinen die entfernteren niedriger.

Theor. 15. Wenn von zwei Größen, die unter dem Auge liegen, die eine über die andere um ein gewisses Stück hervorragt, so wird dieses, wenn das Auge sich nähert, größer, wenn es sich entfernt, kleiner.

Auch dieser Satz ist viel zu unbestimmt ausgedrückt. Er ist nur richtig, wenn der kleinere Gegenstand dem Auge näher, als der größere ist, und wenn das Auge bei seiner Bewegung in derselben Horizontal-Ebene bleibt.

Theor. 16. Wenn von zwei Größen, welche höher liegen, als das Auge, die eine über die andere um ein gewisses Stück hervorragt, so wird dieses, wenn das Auge sich nähert, kleiner, wenn es sich entfernt, größer.

Auch hier gilt die Bemerkung zu dem vorigen Theoreme.

Theor. 17. Wenn von zwei Gegenständen der eine über den anderen hervorragt, und das Auge in derselben horizontalen Linie bleibt, welche durch das obere Ende des kleineren

Gegenstandes geht, so scheint der größere stets um dasselbe Stück über den kleineren hervorzuragen, das Auge mag sich nähern oder entfernen.

18. Aufgabe. Die Größe einer gegebenen Höhe zu finden.

Es wird die bekannte Methode, die Höhe aus ihrem Schatten zu finden, gelehrt.

19. Aufgabe. Die Größe einer gegebenen Höhe auf eine andere Weise, als durch ihren Schatten zu finden.

Es wird die Methode, die Höhe mit Hilfe eines ebenen Spiegels zu finden, gelehrt.

20. Aufgabe. Die Größe einer gegebenen Tiefe zu finden.

21. Aufgabe. Die Größe einer gegebenen Länge zu finden.

Theor. 22. Ein Kreisbogen, in derselben Ebene, in welcher sich das Auge befindet, beschrieben, scheint eine gerade Linie zu sein.

Der Beweis des Euklides ist folgender: Der Kreisbogen heiße ΒΖΓ, das Auge sei in derselben Ebene mit dem Kreisbogen in Δ, und aus Δ seien die Strahlen ΔΒ, ΔΖ, ΔΓ gezogen. Da kein sichtbarer Gegenstand zugleich ganz gesehen wird (Theor. 1.), so wird auch nicht der ganze Bogen ΖΒ, sondern es werden nur seine Endpunkte Ζ und Β sichtbar sein. Es wird daher ΖΒ eine gerade Linie zu sein scheinen. Dasselbe gilt auch von dem Bogen ΖΓ. Der ganze Bogen wird daher wie eine gerade Linie erscheinen. Diesem Beweise hat Pappus*) einen anderen hinzugefügt, der so lautet: Von dem Auge Δ, welches sich in derselben Ebene mit dem Kreisbogen ΒΖΓ befindet, gehen die Strahlen ΔΒ, ΔΕ, ΔΘ, ΔΚ, ΔΛ, ΔΓ aus. Der auf dem Bogen winkelrecht stehende Strahl ΔΖ werde bis zum Mittelpunkte Μ verlängert, von welchem die Linien ΜΒ, ΜΕ u. s. w. bis ΜΓ gezogen werden. Nun ist der Winkel ΜΔΓ größer, als der Winkel ΜΔΛ, und der Winkel ΜΔΛ größer, als der Winkel ΜΔΚ. Daher wird ΜΓ unter einem größeren Winkel, als ΜΛ, ΜΛ unter einem größeren als ΜΚ, und diese Linie wieder unter einem größeren Winkel als ΜΖ gesehen, und deshalb Ζ näher als Κ, Κ näher als Λ, und Λ näher als Γ an dem Mittelpunkte Μ zu liegen scheinen. Auf solche Weise tritt die Krümmung des Bogens zurück, und es erscheint derselbe als eine gerade Linie. Eben dieses gilt auch von dem Bogen ΖΒ.

Theor. 23. Von einer jeden Kugel, die nur mit einem Auge betrachtet wird, sieht man stets weniger, als die Hälfte; was aber von derselben gesehen wird, erscheint von einem Kreise begrenzt.

Theor. 24. Je mehr sich das Auge einer Kugel nähert, desto weniger sieht es von derselben; man glaubt aber (wegen des größer werdenden Sehwinkels) mehr zu sehen.

Theor. 25. Eine aus der Ferne betrachtete Kugel scheint ein Kreis zu sein.

Theor. 26. Wenn eine Kugel mit beiden Augen gesehen wird, und ihr Durchmesser der geraden Linie zwischen den beiden Augen gleich ist, so sieht man die Hälfte derselben.

Theor. 27. Wenn die Entfernung der beiden Augen größer ist, als der Durchmesser einer Kugel, so wird man mehr, als ihre Hälfte sehen.

---

*) Pappus lebte im vierten Jahrhundert n. Chr., und hat außer den collectiones mathematicae in acht Büchern, von denen die beiden ersten nicht mehr vorhanden sind, Erläuterungen zum Euklides, Ptolemäus, Aristarch von Samos und Apollonius geschrieben.

Theor. 28. Wenn die Entfernung der beiden Augen kleiner ist, als der Durchmesser einer Kugel, so wird man weniger, als ihre Hälfte sehen.

Theor. 29. Wenn ein Cylinder nur mit einem Auge betrachtet wird, so sieht man stets weniger, als seine Hälfte.

Theor. 30. Je mehr sich das Auge einem Cylinder nähert, desto weniger sieht man von demselben. Man glaubt aber mehr zu sehen.

Theor. 31. und 32. enthalten die beiden vorigen Theoreme, auf den Kegel angewendet.

Theor. 33. Wenn man von dem Auge zwei Tangenten an die Peripherie der Grundfläche eines Kegels, und aus den Berührungspunkten durch die Oberfläche desselben gerade Linien nach seiner Spitze zieht, durch diese Linien aber und durch jene Tangenten Ebenen legt, in deren gemeinschaftlichem Durchschnitte sich das Auge befindet, so sieht man in jedem Punkte dieses Durchschnittes gleichviel vom Kegel.

Euklides folgert diesen Satz aus der Gleichheit der Winkel, die in jedem Punkte des Durchschnittes der Ebenen von den an den Kegel gezogenen Tangenten gebildet werden, er nimmt also immer die durch das Auge und die Berührungspunkte gelegte Ebene parallel mit der Grundfläche des Kegels an.

Theor. 34. Einem Auge, das sich in einer geraden Linie, die stets gleich weit von einem Kegel entfernt bleibt, bewegt, erscheint, wenn es höher steht, das vom Kegel gesehene Stück kleiner, wenn es niedriger steht, größer.

Euklides beweis't diesen Satz ungefähr folgendermaaßen: Der Durchschnitt des Kegels sei ΒΔΑ, der Scheitel in Δ. Aus einem Punkte Κ der verlängerten ΑΒ ziehe man ΚΘ parallel mit der Seitenlinie ΒΔ, und aus Δ durch Θ und Σ (einen niedrigeren Punkt der ΚΘ) bis zur verlängerten ΑΒ die Linien ΔΝ und ΔΛ. Die Stücke des Kegels, welche man sieht, wenn sich das Auge einmal in Ν, und dann in Λ befindet, sind ungleich; kleiner erscheint das Stück aus Ν, größer das aus Λ. Das Stück des Kegels, welches aus Ν gesehen wird, ist gleich dem aus Θ, und das aus Λ dem aus Σ gesehenen, wie im vorigen Satze gezeigt ist. Folglich u. s. w.

Theor. 35. Wenn man in dem Mittelpunkte eines Kreises eine Linie winkelrecht gegen seine Ebene errichtet, und das Auge in einen Punkt dieser Linie bringt, so erscheinen alle Durchmesser des Kreises gleich.

Theor. 36. Wenn die in dem Mittelpunkte eines Kreises errichtete Linie nicht winkelrecht auf seiner Ebene steht, dieselbe aber dem Halbmesser gleich ist, so erscheinen die Durchmesser gleich.

In einem Zusatze sagt Euklides, daß zwei Durchmesser auch dann gleich erscheinen werden, wenn die schräge Linie zwar nicht dem Halbmesser gleich ist, die Winkel aber, welche sie mit einem Durchmesser bildet, einzeln verglichen denen gleich sind, die sie mit dem anderen Durchmesser einschließt.

Theor. 37. Wenn die aus dem Auge nach dem Mittelpunkte eines Kreises gezogene Linie schräge auf seiner Ebene steht, und dem Halbmesser nicht gleich ist, auch nicht die Winkel, welche sie mit einem Durchmesser einschließt, einzeln verglichen denen gleich sind, die sie mit dem anderen bildet, so werden die Durchmesser ungleich erscheinen.

Theor. 38. Wenn die aus dem Auge nach dem Mittelpunkte eines Kreises gezogene Linie ungleiche Winkel mit den verschiedenen Durchmessern bildet, und nicht winkelrecht auf der Ebene des Kreises steht, aber größer ist, als der Halbmesser, so werden die Durchmesser ungleich erscheinen, und zwar wird derjenige der größere sein, auf welchem der aus dem Auge nach dem Mittelpunkte gehende Strahl winkelrecht steht.

Theor. 39. Ist die im vorigen Satze bestimmte Linie kleiner, als der Halbmesser, so wird das Gegentheil des Vorigen bei den Durchmessern Statt finden. Der vorher größer schien, wird nun kleiner erscheinen, und der kleinere jetzt größer.

Theor. 40. Die Räder der Wagen werden bald kreisförmig, bald verzogen (παρεσπασμένοι) erscheinen.

Der Beweis liegt in den Sätzen 36. bis 39.

Theor. 41. Wenn ein Gegenstand winkelrecht auf einer Ebene steht, und das Auge sich in irgend einem Punkte dieser Ebene befindet, um welchen, wie um den Mittelpunkt eines Kreises, sich der Gegenstand bewegt, so wird er stets von gleicher Größe erscheinen.

Theor. 42. Wenn ein Gegenstand winkelrecht auf einer Ebene steht, und das Auge sich in der Peripherie eines Kreises, dessen Mittelpunkt der Gegenstand einnimmt, bewegt, so wird er stets von gleicher Größe gesehen werden.

Theor. 43. Wenn ein Gegenstand schräge auf einer Ebene steht, und sich in der Peripherie eines Kreises, in dessen Mittelpunkt das Auge ist, bewegt, so wird er stets ungleich erscheinen.

Der Satz ist nur in dem Falle richtig, wenn der Gegenstand seiner ersten Lage stets parallel bleibt. Euklides giebt diese nothwendige Bedingung nicht an.

Theor. 44. Es giebt einen Ort, an welchem ein sich bewegender Gegenstand stets gleich groß erscheint.

Theor. 45. Es giebt einen Ort, an welchem ein Gegenstand dem sich bewegenden Auge stets gleich groß erscheint.

Euklides nimmt das Auge in den verschiedenen Punkten der Peripherie eines Kreises, und den Gegenstand als eine konstante Chorde an.

Theor. 46. Es giebt einen Ort, wo, wenn das Auge an denselben versetzt wird, der Gegenstand aber an derselben Stelle bleibt, letzterer ungleich erscheint.

Der Sinn dieses Satzes ist folgender: Man trage in einem Kreise den Gegenstand ΚΔ als eine Chorde ein, die von einem Punkte Σ der Peripherie unter dem Winkel ΚΣΔ gesehen wird. Verlängert man den Schenkel ΚΣ über Σ hinaus, und zieht aus dem Punkte Β der Verlängerung eine Linie nach dem Endpunkte Δ der Chorde, so daß der entstehende Winkel der innere des äußeren Peripherie-Winkels wird, so erscheint der Gegenstand in Β kleiner, als in der Peripherie.

Theor. 47. Dasselbe wird sich ereignen, wenn die Linie, auf welcher sich das Auge befindet, dem Gegenstande parallel ist.

Theor. 48. Es giebt einen gemeinsamen Ort, wo gleiche Größen ungleich erscheinen.

Euklides theilt eine Linie ΒΔ in die gleichen Theile ΒΓ und ΓΔ, beschreibt über ΒΓ

einen Halbkreis, über ΓΔ ein Segment eines größeren Kreises, welches den Halbkreis in Ζ schneidet, und versetzt das Auge nach Ζ.

Theor. 49. Es giebt einen gemeinsamen Ort, an welchem ungleiche Größen gleich erscheinen.

Theor. 50. Es giebt gewisse Stellen, an denen eine Größe, die aus zwei ungleichen, an einander gesetzten besteht, jeder der ungleichen gleich erscheint.

Die beiden ungleichen Größen seien, die größere ΒΓ, die kleinere ΓΔ, und um jede, so wie um ihre Summe ΒΔ werden die Halbkreise ΒΚΓ, ΓΖΔ, ΒΑΔ beschrieben. Nun ist der Winkel ΒΑΔ gleich dem Winkel ΒΚΓ, gleich dem Winkel ΓΖΔ u. s. w.

Aufg. 51. Die Stellen zu finden, an denen eine und dieselbe Größe um die Hälfte, oder um den vierten Theil, oder überhaupt in einem gegebenen Verhältnisse, nach welchem der Winkel getheilt wird, kleiner erscheint.

Die Aufgabe lös't Euklides mit Hilfe des Problems, über einer gegebenen Chorde ein Segment, das einen gegebenen Peripherie-Winkel enthält, zu beschreiben.

Theor. 52. Wenn sich mehrere, auf derselben geraden Linie in der Nähe des Auges befindliche Gegenstände mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, so wird der letzte den übrigen voranzueilen scheinen; ändern sie aber ihre Lage, so wird der vorhin voraneilende nachzufolgen, der vorhin nachfolgende voranzueilen scheinen.

Die Worte des Textes lauten so: τῶν ἴσῳ τάχει φερομένων καὶ ἐπὶ τῆς αὐτῆς εὐθείας ὄντων πλησίον πρὸς τὸ ὄμμα, τὸ τελευταῖον προηγεῖσθαι δόξει· παραλλαξάντων δὲ, τὸ μὲν προηγούμενον ἐπακολουθεῖν, τὸ δ᾽ ἐπακολουθοῦν προηγεῖσθαι δόξει. Jedenfalls ist der Satz nicht bestimmt genug angegeben. Aus dem Beweise aber scheint hervorzugehen, daß Euklides Folgendes sagen wolle: Wenn mehrere Gegenstände, die sich auf derselben geraden Linie in gleicher Entfernung von einer durch das Auge gehenden Vertikal-Ebene befinden, sich mit gleicher Geschwindigkeit von der Linken zur Rechten bewegen, so wird auf der linken Seite jener Ebene der vom Auge entfernteste den übrigen voranzueilen scheinen; auf der rechten Seite aber wird der vom Auge entfernteste hinter den übrigen zurückzubleiben, und der nächste allen übrigen voranzueilen scheinen. Besonders scheinen die Worte πλησίον πρὸς τὸ ὄμμα nicht an ihrer Stelle, oder vielmehr ganz überflüssig zu sein.

Theor. 53. Wenn sich mehrere Größen mit ungleicher Geschwindigkeit in derselben Richtung mit dem Auge bewegen, so scheinen diejenigen, die gleiche Geschwindigkeit mit dem Auge haben, still zu stehen; die sich langsamer bewegen, scheinen nach der entgegengesetzten Richtung zu gehen; die aber schneller, scheinen voranzueilen.

Theor. 54. Wenn unter mehreren, sich nach derselben Richtung bewegenden Gegenständen einer still steht, so scheint sich dieser ruhende nach der entgegengesetzten Richtung zu bewegen.

Theor. 55. Einem Auge, das sich einem Gegenstande nähert, scheint letzterer größer zu werden.

Theor. 56. Wenn sich gleich mehrere Gegenstände mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, so scheint doch die Bewegung der entfernteren langsamer zu sein.

Theor. 57. Wenn das Auge sich vorbeibewegt, so scheinen die entfernten Gegenstände zurückzubleiben.

Die Figur zu diesem Satze ist in der Gregoryschen Ausgabe unrichtig. Der Satz wird verständlich, wenn man in einer Vertikallinie den Gegenstand A unter B annimmt, und das Auge sich etwa von der Linken zur Rechten in einer Horizontal-Ebene bewegen läßt. Aus irgend einem zur Rechten gelegenen Punkte Γ dieser Ebene erblickt man alsdann den Gegenstand A in der verlängerten ΓA, den Gegenstand B aber in der Richtung ΓB, die mehr rechtshin liegt.

Theor. 58. Gegenstände, die sich vergrößern, scheinen dem Auge näher zu kommen.

Theor. 59. Was als ungleichlaufend in ungleicher Entfernung vom Auge liegt, und wo weder die an den Enden befindlichen Stellen einander parallel, noch die in der Mitte befindlichen auf derselben geraden Linie liegen, bildet bald eine hohle, bald eine erhabene Figur.

In Theor. 60. und 61. sind die beiden Sätze, welche in 35. und 37. vom Kreise bewiesen wurden, auf das Quadrat angewendet.

## Die Katoptrik des Euklides.

Auch diese Schrift hat man, wie schon gesagt, für unächt erklärt. Mehreren Sätzen fehlen allerdings die zu ihrer Wahrheit nöthigen näheren Bestimmungen, auch finden sich hier der völlig unrichtigen Behauptungen noch weit mehr, als in der Optik. Wie dem aber auch sei, so bleibt sie jedenfalls ein unschätzbarer Ueberrest des Alterthums, in welchem wir zum ersten Male die Mathematik zur Ermittelung der Gesetze, nach denen das Licht von den Spiegeln zurückgeworfen wird, in systematischer Ordnung angewendet finden.

Euklides gründet seine Katoptrik auf folgende sieben Sätze, die er als Thatsachen, durch die Erfahrung gegeben, aufstellt:

1) Der Lichtstrahl ist eine gerade Linie, deren Endpunkte alle dazwischen gelegenen Punkte decken.

2) Jeder sichtbare Gegenstand wird in gerader Richtung gesehen.

3) Wird ein Spiegel auf eine Horizontal-Ebene gelegt, auf welcher ein Gegenstand vertikal steht, so findet dasselbe Verhältniß, welches der Gegenstand und die Höhe des Auges gegen einander haben, auch zwischen den Linien Statt, die zwischen dem Auge und dem Spiegel, und zwischen dem Gegenstande und dem Spiegel gezogen werden.

4) Wenn in ebenen Spiegeln die Stelle (vom Auge) eingenommen ist, auf welche die von dem Gegenstande nach dem Spiegel gezogene Winkelrechte fällt, so wird der Gegenstand (im Spiegel) nicht gesehen.

5) Wenn in erhabenen Spiegeln die Stelle vom Auge eingenommen ist, welche von der geraden Linie, die durch den Gegenstand und den Mittelpunkt der Kugel (von welcher der Spiegel ein Segment ist) geht, getroffen wird, so ist der Gegenstand nicht sichtbar.

6) Dasselbe findet bei Hohlspiegeln Statt.

7) Wenn etwas in ein Gefäß geworfen, und letzteres so weit entfernt wird, bis das Hineingeworfene nicht mehr gesehen werden kann, so wird es in derselben Entfernung sichtbar, wenn man Wasser in das Gefäß gießt.

Auf

Auf diese Sätze gründet nun Euklides folgende 31 Theoreme:

Theor. 1. Von ebenen, erhabenen und hohlen Spiegeln werden die Strahlen unter gleichen Winkeln zurückgeworfen.

Den Beweis leitet Euklides aus dem Erfahrungssatze 3. her, ungeachtet es viel näher liegt, dies Theorem als einen Erfahrungssatz anzusehen, und hieraus den Satz 3. herzuleiten.

Theor. 2. Wenn ein Strahl auf irgend einen Spiegel unter gleichen Nebenwinkeln fällt, so wird er in sich selbst zurückgeworfen.

Theor. 3. Wenn ein Strahl unter ungleichen Winkeln auf einen Spiegel fällt, so wird er weder in sich selbst zurückgeworfen, noch nach dem kleineren Winkel hin (unter dem er auffällt).

Theor. 4. Die Strahlen, welche von ebenen und erhabenen Spiegeln zurückgeworfen werden, können weder einander schneiden, noch parallel sein.

Theor. 5. Wenn man das Auge entweder in den Mittelpunkt eines Hohlspiegels, oder in die Peripherie, oder außerhalb der Peripherie, d. h. zwischen den Mittelpunkt und die Peripherie stellt, so werden sich die zurückgeworfenen Strahlen schneiden.

Der Satz wird verständlich, wenn man sich erinnert, daß Euklides stets die Strahlen nicht von den leuchtenden Gegenständen, sondern aus dem Auge ausgehen läßt. Die letzte Bedingung, nach welcher der Gegenstand zwischen dem Spiegel und dem Mittelpunkte angenommen wird, ist übrigens nur auf die Entfernung zwischen dem Brennpunkte und dem Mittelpunkte zu beschränken.

Theor. 6. Wenn das Auge zwischen den Mittelpunkt und die Peripherie eines Hohlspiegels gestellt wird, so werden sich die zurückgeworfenen Strahlen zuweilen schneiden, zuweilen aber nicht.

Dieser Satz kommt mit der bekannten Wirkung der Hohlspiegel überein, daß nämlich die zurückgeworfenen Strahlen divergiren, und ein geometrisches Bild geben, wenn sich der Gegenstand zwischen dem Spiegel und seinem Brennpunkte befindet, daß aber die reflektirten Strahlen konvergiren, und ein physisches Bild hervorbringen, wenn der Gegenstand außerhalb der Brennweite steht.

Theor. 7. Höhen und Tiefen erscheinen in ebenen Spiegeln verkehrt.

Unter einer Höhe versteht Euklides ein Loth auf dem horizontalen Spiegel, unter einer Tiefe dasselbe, wenn die polirte Oberfläche unterwärts gekehrt ist.

Theor. 8. Höhen und Tiefen erscheinen in erhabenen Spiegeln verkehrt.

Theor. 9. Gegenstände, die einem ebenen Spiegel zur Seite liegen, erscheinen in der Lage, welche sie wirklich haben.

Im Texte sind die Gegenstände τὰ πλάγια μήκη genannt, im Gegensatze der Höhen und Tiefen, so daß man hierunter besonders die den Spiegeln seitwärts gelegenen, ihnen parallelen Gegenstände verstehen muß.

Theor. 10. Gegenstände, die einem erhabenen Spiegel zur Seite (und demselben parallel) liegen, erscheinen in der Lage, welche sie wirklich haben.

Theor. 11. In Hohlspiegeln erscheinen Höhen und Tiefen, die innerhalb des Durch-

schnittspunktes der reflektirten Strahlen liegen, umgekehrt, wie in ebenen und erhabenen Spiegeln, die aber außerhalb jenes Punktes liegen, erscheinen in der Lage, welche sie wirklich haben.

Euklides nimmt das Auge zur Seite des Spiegels an, und zieht zwei aus demselben ausgehende Strahlen so, daß sie sich nach der Reflexion in einem Punkte schneiden. Dies ist der im Satze genannte Durchschnittspunkt. Er zieht hierauf zwei Halbmesser, den einen zwischen dem Spiegel und jenem Durchschnittspunkte, den anderen auf der anderen Seite des letzteren. Die zwischen den reflektirten Strahlen gelegenen Stücke dieser Halbmesser sollen die im Satze angegebenen Höhen sein. — Verstehe ich anders den Euklides recht, so muß ich den zweiten Theil des Satzes für unrichtig halten, indem die Bilder von senkrecht gegen Hohlspiegel gehaltenen Gegenständen hinsichts der Lage ihrer Endpunkte immer, wie in ebenen, also umgekehrt erscheinen.

Theor. 12. Gegenstände, die winkelrecht gegen die Achse der Hohlspiegel stehen (τὰ πλάγια μήκη), erscheinen, wenn sie innerhalb des Durchschnittspunktes der Strahlen stehen, in der Lage, welche sie wirklich haben; stehen sie aber außerhalb jenes Punktes, so erscheinen sie umgekehrt.

Theor. 13. Dieselbe Sache kann durch mehrere Spiegel gesehen werden.

Theor. 14. Es ist möglich, dieselbe Sache durch beliebig viele ebene Spiegel zu sehen; man muß hiezu ein reguläres Polygon beschreiben, das zwei Seiten mehr hat, als die Anzahl der Spiegel betragen soll.

Euklides beschreibt innerhalb eines Kreises ein reguläres Fünfeck, und legt durch drei Winkelspitzen desselben Tangenten, in deren Richtung die Spiegel angebracht werden sollen; den Gegenstand setzt er in die vierte Winkelspitze, und das Auge in die fünfte.

Theor. 15. Es ist möglich, dieselbe Sache durch beliebig viele konvexe oder konkave Spiegel zu sehen.

Theor. 16. In ebenen Spiegeln wird der Gegenstand in der Winkelrechten, die von demselben auf den Spiegel gefällt ist, gesehen.

Theor. 17. In erhabenen Spiegeln wird der Gegenstand in der geraden Linie, die von demselben nach dem Mittelpunkte der Kugel (von welcher der Spiegel ein Segment ist) gezogen wird, gesehen.

Theor. 18. In Hohlspiegeln wird jeder Gegenstand in der geraden Linie, die von demselben nach dem Mittelpunkte der Kugel gezogen ist, gesehen.

Theor. 19. In ebenen Spiegeln erscheint das beim Gegenstande zur Linken Gelegene rechts, und das zur Rechten Gelegene links; auch ist der Gegenstand und sein Bild gleich weit vom Spiegel entfernt.

Theor. 20. In erhabenen Spiegel erscheint das beim Gegenstande zur Linken Gelegene rechts, und das zur Rechten Gelegene links; das Bild ist aber dem Spiegel näher, als der Gegenstand.

Theor. 21. In erhabenen Spiegeln ist das Bild kleiner, als der Gegenstand.

Theor. 22. In kleineren erhabenen Spiegeln erscheinen die Bilder kleiner.

Theor. 23. In erhabenen Spiegeln erscheinen die Bilder gerader Gegenstände erhaben.

Dieser Satz hat allerdings seine Richtigkeit, der von Euklides gegebene Beweis ist aber unrichtig. Er hält nämlich diese Erscheinung für eine optische Täuschung, die daher entstehe, daß die vom Auge ausgehenden, und vom Spiegel nach der Mitte des Gegenstandes reflektirten Strahlen kürzer sind, als die nach dem Rande reflektirten *).

Theor. 24. Wenn das Auge bei Hohlspiegeln in den Mittelpunkt der Kugel versetzt wird, so sieht es nur sich selbst.

Das Bild des Auges fällt in diesem Falle in das Auge selbst, und kann daher von diesem nicht gesehen werden.

Theor. 25. Wenn das Auge in die Peripherie eines Hohlspiegels, oder außerhalb derselben versetzt wird, so wird es sich selbst nicht sehen können.

Theor. 26. Wenn man in dem Mittelpunkte eines Hohlspiegels einen Durchmesser zieht, der winkelrecht auf der Achse steht, und das Auge auf die eine oder die andere Seite der Achse stellt, so wird man nichts von dem sehen, was auf derselben Seite mit dem Auge liegt, d. h. nichts von dem, was innerhalb des Durchmessers, oder außerhalb desselben, oder in demselben liegt.

Um diesem Theoreme einen Sinn unterlegen zu können, muß man sich erinnern, daß, während der Gegenstand selbst von allen Seiten sichtbar ist, sein Bild immer nur innerhalb eines bestimmten Winkels gesehen werde. Unter dem Durchmesser ist übrigens hier und in den folgenden Sätzen immer eine Linie, die in dem geometrischen Mittelpunkte des Spiegels winkelrecht auf der Achse steht, und bis zur erweiterten Peripherie des Spiegels gezogen wird, zu verstehen.

---

*) Daß sowol in Sammel- als auch in Zerstreuungsspiegeln die Bilder größerer gerader Gegenstände nicht unmerklich von der geraden Richtung abweichen müssen, ergiebt sich aus folgender Rechnung. Es sei AG die Axe eines Hohlspiegels, in C der geometrische Mittelpunkt desselben, und Gg ein außerhalb der Brennweite befindlicher, senkrecht auf der Achse stehender Gegenstand. Die durch g und C gezogene Linie treffe den Spiegel in B. So wie das Bild des Punktes G in einem Punkte H der Linie AC liegt, eben so muß auch das Bild des Punktes g in einem Punkte h der Linie BC gelegen sein. Es kommt nunmehr darauf an, den Zug der Linie, durch welche die Punkte H und h zu verbinden sind, welche Linie das Bild des Gegenstandes Gg sein würde, zu bestimmen. Der Anfangspunkt der Abscissen für die Linie Hh werde in C angenommen, und der Koordinaten-Winkel sei ein rechter. Noch werde CA mit r, Gg mit m, und CG mit n bezeichnet. Für die Vereinigungsweite Bh hat man bekanntlich den Werth $\frac{r.\,Bg}{2.\,Bg - r}$, woraus sich $Bg = \frac{r.\,Bh}{2.\,Bh - r} = \frac{r\,(r - hC)}{r - 2.\,hG}$ ergiebt. Da nun $m = \frac{ny}{x}$, so ist $Cg = \frac{n}{x}\,(x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} = \frac{n}{x}\,.\,hC$, und $Bg = r + Cg = r + \frac{n}{x}\,.\,hC = \frac{r\,(r - hC)}{r - 2.\,hC}$, woraus $n = \frac{rx}{r - 2.\,hC} = \frac{rx}{r - 2\,(x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}}$ und $y^2 = \frac{r^2}{4} - \frac{r^2 x}{2n} + \frac{(r^2 - 4n^2)}{4n^2}\,x^2$.

In einem Sammelspiegel ist also das Bild nach einem Hyperbel-Bogen gekrümmt, wenn $r > 2n$, nach einem elliptischen, wenn $r < 2n$, nach einem Parabel-Bogen, wenn $r = 2n$, und nach einem Kreisbogen, dessen Halbmesser $\frac{r}{2}$ ist, wenn $n = \infty$, indem die Gleichung in diesem Falle die Form $y^2 = \frac{r^2}{4} - x^2$ erhält. Der Gegenstand ist nämlich im letzten Falle in unendlicher Entfernung vom Spiegel, und deshalb liegt sein Bild im Brennpunkte. Bei einem Zerstreuungsspiegel, für den r negativ ist, bleibt die Gleichung ungeändert.

Theor. 27. Wenn die Augen so in den Durchmesser eines Hohlspiegels gestellt werden, daß beide gleich weit von dem Mittelpunkte entfernt sind, so wird keins der Augen gesehen werden.

Das Bild des einen Auges fällt nämlich in diesem Falle in das andere.

Theor. 28. Wenn man den Theil der Achse, der zwischen dem Spiegel und dem (geometrischen) Mittelpunkte liegt, halbirt, im Halbirungspunkte ein Loth errichtet, und die Augen in dieses Loth so bringt, daß sie gleich weit von der Achse entfernt sind, so wird keins der Augen gesehen werden, sie mögen zwischen diesem Lothe und dem Durchmesser, oder in dem Lothe selbst angenommen werden.

Im ersten Falle, wenn die Augen zwischen dem Lothe und dem Durchmesser angenommen werden, fällt das Bild des einen Auges hinter das andere; im anderen nimmt Euklides die Augen im Brennpunkte des Hohlspiegels an.

Theor. 29. Wenn die Augen außerhalb des Durchmessers angenommen werden, so erscheint das rechts Gelegene rechts, das links Gelegene links, auch ist das Bild kleiner, als das Gesicht selbst, und zwischen dem Gesichte und dem Spiegel gelegen.

Man sieht, wie unbestimmt und nur halbwahr der Satz ausgedrückt ist. Die letzte richtige Bemerkung aber, daß das Bild zwischen dem Auge und dem Spiegel, also in der Luft schwebend, angegeben wird, verdient in einer Schrift der damaligen Zeit eine um so größere Anerkennung, da man, durch die Gewöhnung verleitet, nur zu leicht geneigt ist, das Bild auch in diesem Falle hinter dem Spiegel anzunehmen.

Theor. 30. Es kann ein Spiegel aus ebenen, erhabenen und hohlen so zusammengesetzt werden, daß in ihm mehrere Bilder des Gesichts erscheinen, theils größere, theils kleinere, theils nähere, theils entferntere, und so, daß das rechts Gelegene zur Rechten, das links Gelegene zur Linken sichtbar ist.

Theor. 31. Von Hohlspiegeln, welche gegen die Sonne gehalten werden, wird Feuer angezündet.

Im Beweise wird gezeigt, daß die Entzündung entweder an einer Stelle zwischen dem Mittelpunkte und dem Spiegel, oder im Mittelpunkte selbst erfolgen werde. Die auffallende Unrichtigkeit der letzten Behauptung, und daß der Punkt zwischen dem Mittelpunkte und dem Spiegel nicht näher bestimmt ist, alles dies war wol geeignet, Verdacht gegen die Ächtheit wenn auch nicht der ganzen Schrift, so doch einzelner, vielleicht erst durch spätere Kommentatoren hinzugefügter Sätze, zu erregen.

## Ptolemäus.

Die ältesten Schriftsteller, die einer Optik des Ptolemäus erwähnen, sind Heliodor von Larissa und Simplicius in seinen commentariis in quatuor Aristotelis libros de coelo *). Unter den neueren, die dieses Werk ausdrücklich nennen, ist Roger Bacon, der

*) Fabric. biblioth. graeca ed. Harles. Vol. V. pag. 295. Simplicius lebte im sechsten Jahrhundert nach Chr.

in der Mitte des dreizehnten Jahrhunderts lebte, der erste. Regiomontanus, zwei Jahrhunderte später, hatte noch diese Schrift gesehen, und eine Revision ihres Textes versprochen *). Die letzte Nachricht über das Vorhandensein einer Optik des Ptolemäus findet sich in der von Friedrich Risner besorgten Ausgabe der Optik des Alhazen**). In der Vorrede, da, wo er von der seltenen Gelehrsamkeit und dem selbstständigen Forschungsgeiste des Arabischen Optikers spricht, sagt er: Euclideum hic vel Ptolemaicum nihil fere est. Erst vor einigen Jahren fand Caussin ***) in der Königl. Bibliothek zu Paris das Manuscript eines Schülers des Prof. Saint-Clair vom Jahre 1608, worin dieser Citate aus der Optik des Ptolemäus, als einem damals noch bekannten Werke, gegeben hatte. Seit jener Zeit verschwindet jede Spur einer Schrift, von welcher sich zwar eben nicht Gewinn für die Wissenschaft erwarten ließ, die aber wegen einiger, durch Roger Bacon aufbehaltenen Stellen, welche ich hernach anführen werde, die Aufmerksamkeit auf sich zog, auch deshalb, weil man den berühmten Astronomen für ihren Verfasser hielt, ein um so größeres geschichtliches Interesse gewann. Die Meinung, das Buch sei verloren gegangen, schien in Fabricius einen sicheren Gewährsmann gefunden zu haben, auch Montucla trug kein Bedenken, diese Ansicht in der Geschichte der Mathematik weiter zu verbreiten. Dies war der Stand der Sache, als Caussin's Augen auf den Titel einer Lateinischen Übersetzung der Ptolemäischen Optik in dem Kataloge der Pariser Bibliothek zufällig fielen. Er fand die Übersetzung des Arabischen Textes in so schlechtem, an so vielen Stellen unterbrochenem Latein, daß Vieles ganz unverständlich ist. Der Arabische Übersetzer ist eben so wenig, als die Zeit, in welcher die Optik ins Arabische übertragen wurde, angegeben; es ist aber wahrscheinlich, daß Almamun (813—833 n. Chr.), der die Werke des Euklides, Claudius Ptolemäus und anderer Griechischen Schriftsteller ins Arabische übertragen ließ, auch die Uebersetzung dieser Schrift veranlaßt habe. Der Lateinische Übersetzer, der zwei Arabische Manuscripte vor Augen gehabt zu haben versichert, nennt sich bald Ammiracus, bald Ammiratus Eugenius Siculus. Man sieht hieraus, daß selbst der Name des Übersetzers nicht unverstümmelt geblieben ist. Ueberhaupt lassen die vielen, in dem Pariser Manuscripte theils entstellten, theils ausgelassenen Wörter wohl keinen Zweifel übrig, daß dasselbe aus einem früheren copirt sei.

Daß der Verfasser des Almagest derselbe mit dem der Optik sei, scheint schon daraus, daß letzterer von Allen, die seiner erwähnen, ohne weiteren Vornamen bloß Ptolemäus genannt wird, gerade so, wie bei dem ersteren der Vorname Claudius ausgelassen zu werden pflegt, nicht zweifelhaft zu sein. Auch scheint Simplicius keinen Anderen, als den Astronomen im Sinne gehabt zu haben, wenn er sagt, der bewunderte (θαυμάσιος) Ptolemäus habe die Optik geschrieben. Was übrigens Zweifel gegen die Identität der Verfasser der Optik und des Almagest erregen könnte, ist der Umstand, daß ersterer die astronomische Strahlenbrechung, wie wir gleich sehen werden, sehr wohl kannte, während an keiner Stelle des Almagest davon die Rede ist, und nirgends an eine Korrektion der beobachteten Höhen gedacht wird. —

*) Jo. Frid. Weidleri hist. astron. Vitembergae. 1741. pag. 311.
**) Dies Werk erschien durch Risner unter dem Titel opticae thesaurus, Basel 1572. fol.
***) Man sehe die Mémoires de l'institut royal, acad. des inscriptions et belles-lettres, Tom. VI. 1822.

Ich will den Inhalt der Optik, wie er in dem Lateinischen Manuscripte angegeben ist, mittheilen. Das Werk besteht aus fünf Büchern, von denen jedoch das erste in den beiden Arabischen Manuscripten, welche der Übersetzer benutzt hatte, fehlte. Aus dem Anfange des zweiten Buches läßt sich indeß entnehmen, daß das erste von den allgemeinen Eigenschaften des Lichtes gehandelt habe *). — Das zweite Buch beschäftigt sich mit den Bedingungen der Sichtbarkeit der Dinge. Nichts wird gesehen ohne ein Durchsichtiges, und ohne etwas, das die Fortpflanzung des Lichtes verhindert. Unter den sichtbaren Dingen sieht man einige wirklich (vere) und unmittelbar (primo), andere mittelbar (sequenter). Das Getast und das Gesicht, beide urtheilen über dieselben Dinge, mit Ausnahme der Farben, über welche nur das letztere entscheidet. Dies Buch handelt ferner von der Bedingung, unter welcher man einen Gegenstand mit beiden Augen nur einmal sieht. Es erfolgt dies nämlich, wenn die Achsen der Gesichts-Pyramiden auf ein und denselben Gegenstand fallen, wie es bei gesunden Augen gewöhnlich ist. Wird aber das Gesicht gezwungen, von seiner Gewohnheit abzuweichen, so wird man denselben Gegenstand doppelt erblicken. In demselben Buche spricht **Ptolemäus** noch von der verschiedenen Größe der Gegenstände, die abhängig ist von dem Gesichtswinkel, der Entfernung und der Lage; ferner, wie man gerade und krumme Linien, Ebenen, konvexe und konkave Flächen sieht. Den Beschluß machen die verschiedenen Arten der Bewegungen und Gesichtstäuschungen, die theils vom Auge, theils von der Phantasie, theils von den Gegenständen selbst herrühren. — Das dritte Buch beschäftigt sich mit den ebenen und erhabenen Spiegeln. Die Theorie wird mittelst einer, mit verschiedenen Farben bemalten Tafel geprüft. — Das vierte Buch handelt von den hohlen und zusammengesetzten Spiegeln, und von den Bildern, die durch zwei oder mehrere Spiegel hervorgebracht werden. — In dem fünften Buche, das unvollständig ist, spricht **Ptolemäus** von der Brechung der Strahlen, die immer unter gleichen Winkeln erfolgt (de flexione visibilium radiorum, quae semper fit ad angulos aequales), und wie man die Gegenstände sieht, wenn sich zwischen ihnen und dem Auge zwei Mittel von verschiedener Dichtigkeit befinden. Wenn das Auge in ein dünneres Mittel versetzt wird, und der Gegenstand in ein dichteres, so erscheint letzterer größer, als er wirklich ist, wie wir dies bemerken, wenn wir aus der Luft in das Wasser sehen. Je tiefer das dichtere Mittel ist, desto größer erscheint der Gegenstand. Sieht aber das Auge aus einem dichteren Mittel in ein dünneres, so erscheinen die Gegenstände kleiner, und um so kleiner, je tiefer das dünnere Mittel ist. Alles dies wird durch Versuche bestätigt, zu denen man entweder ein Gefäß, das Foscyr genannt wird, oder einen gläsernen Cylinder oder Würfel nimmt.

Die beiden merkwürdigsten, schon vorhin erwähnten Stellen betreffen die astronomische Strahlenbrechung, und die verschiedene Größe der Gestirne am Horizonte und bei bedeutenderen Höhen. **Roger Bacon** sagt **): Nam si quis per instrumenta, quibus experimur ea, quae sunt in coelestibus, cujusmodi vocantur armillae et alia, accipiat locum alicujus stellae circa aequinoctialem in ortu suo, et deinde accipiat locum ejusdem, quando

*) In dem Lateinischen Manuscripte heißt es: quomodo visus et lumen communicant et ad invicem assimilantur, et quomodo differunt in virtutibus et motibus, necnon differentiae eorum et accidentia.

**) Specula math. pag. 37.

venit ad lineam meridiei, inveniet in loco meridiei distare eam sensibiliter plus a polo mundi septentrionali, quam quando fuit in ortu. Sic autem Ptolemaeus docet et Alhazen, et ego consideravi instrumento hoc idem, et certum est. Die hierher gehörige Stelle im Ptolemäus kommt im fünften Buche vor, und lautet also: Invenimus res, quae oriuntur et occidunt, magis declinantes ad septentrionem, cum fuerint prope horizontem et metitae fuerint (!) per instrumentum, quo mensurantur sidera, et cum fuerint orientes vel occidentes; circuli utique aequidistantes aequinoctiali, qui describuntur super illas, propinquiores sunt ad septentrionem, quam circuli, qui describuntur super illas, cum fuerint in medio coeli. Übrigens ist Ptolemäus nicht der einzige Schriftsteller des Alterthums, welcher der astronomischen Strahlenbrechung erwähnt. Auch Sextus Empiricus giebt die Wirkung der Strahlenbrechung sehr treffend an, wenn er sagt: Ein Stern, der wirklich noch unter dem Horizonte ist, erscheint durch die Strahlenbrechung schon oberhalb desselben *).

Was endlich die verschiedene Größe der Sterne in der Nähe des Horizontes und Meridians betrifft, so hält Priestley mit Unrecht den Ptolemäus für den Optiker, der zuerst eine wahrscheinliche Erklärung dieses Phänomens gegeben habe. Priestley schreibt diesem nämlich folgenden Gedanken zu: „Die Seele urtheilt von der Größe der Gegenstände nach einer vorgefaßten Schätzung ihrer Entfernung, und diese scheint größer, wenn viele Gegenstände zwischen dem Auge und der betrachteten Sache liegen, wie es der Fall ist, wenn die Himmelskörper nahe beim Horizonte sind." **) In dem dritten Buche der Ptolemäischen Optik kommt allerdings eine hierauf bezügliche Stelle vor, deren Sinn aber von dem hier angegebenen sehr verschieden ist. Sie ist folgende: Videretur autem hac de causa, quod de rebus, quae sunt in coelo, et subtendunt aequales angulos inter radios visibiles, illae, quae propinquae sunt puncto, quod supra caput nostrum est, apparent minores, quae vero sunt prope horizonten, videntur diverso modo et secundum consuetudinem: Res autem sublimes videntur parvae extra consuetudinem, et cum difficultate actionis, secundum id, quod praetaxavimus. Montucla ***), auf den sich Priestley beruft, ist zu jener irrigen Meinung dadurch veranlaßt worden, daß Roger Bacon jene Erklärung zugleich dem Ptolemäus und Alhazen zuschreibt. Sie gebührt ausschließlich dem letzteren ****). Im Almagest †) wird vielmehr als die Ursache der Vergrößerung der Gestirne in der Nähe des Horizontes die Brechung der Strahlen durch die Dünste angegeben, so wie auch eine im Wasser gesehene Sache größer erscheint.

## Heliodor von Larissa.

Zu den Griechischen Schriften, die ausschließlich von der Optik handeln, gehören auch die κεφάλαια τῶν ὀπτικῶν von Heliodor von Larissa. Die ganze Schrift enthält nur 14 halbe

*) Adversus mathematicos, Coloniae Allobrogum, 1621, pag. 122. Die Stelle heißt im Texte: κατὰ ἀνάκλασιν τῆς ὄψεως τὸ ὑπὸ γῆν ἔτι καθεστὼς ζώδιον δοκεῖν ἤδη ὑπὲρ γῆς τυγχάνειν.

**) Geschichte der Optik pag. 11.

***) Hist. des math. Tom. I. pag. 309.

****) Opticae thesaurus Alhazeni, ed. Risnerus. Basileae, 1572, lib. VII. pag. 280.

†) Lib. I., cap. 3.

Quartseiten, und ist zuerst Florenz, 1573. 4. und nach dieser Ausgabe von Lindenbrog, Hamburg, 1610. herausgegeben. Die Zeit, in welcher sie geschrieben wurde, ist unbekannt; nur dies geht aus einer Stelle derselben hervor, daß sie später, als die Optik des Ptolemäus verfaßt wurde. Ihr Inhalt ist deshalb nicht ganz ohne Interesse, weil Heliodor einige Irrthümer, von denen die Griechische Optik befangen war, hier gleichsam theoretisch zu begründen sucht. Den Hauptsachen nach ist er folgender:

Zwischen dem Lichte unserer Augen und dem Sonnenlichte findet große Ähnlichkeit Statt. Das Licht der Augen pflanzt sich geradlinig fort, und macht da, wo es zurückgeworfen wird, gleiche Winkel; dasselbe findet auch bei dem Sonnenlichte Statt.

Die Gestalt unserer Augen, welche nicht hohl, noch so, wie die anderen Sinne, eingerichtet sind, daß sie etwas in sich aufnehmen könnten, sondern vielmehr eine runde Oberfläche haben, beweiset, daß das Licht aus ihnen ausströme. Andere Gründe sind der Glanz der Augen, ferner der Umstand, daß einige bei Nacht, ohne eines fremden Lichtes zu bedürfen, sehen können, wie dies vom Kaiser Tiberius erzählt wird, und daß die Augen der Thiere, welche des Nachts ihrer Nahrung nachgehen, wie Feuer glänzen.

Daß das Licht sich geradlinig, und in Gestalt eines Kegels fortpflanze, hat Ptolemäus in seiner Optik durch Versuche gezeigt; es läßt sich aber auch aus Vernunftgründen darthun. Damit das Licht so schnell als möglich zu den Gegenständen gelange, muß es sich in gerader Linie fortpflanzen, weil diese unter allen, welche dieselben Endpunkte haben, die kleinste ist. Es muß ferner in einem Kreise auf die Gegenstände fallen, damit wir so viel, als möglich, von demselben sehen können, denn diese Figur hat unter allen ebenen desselben Umfanges den größten Inhalt. Das aus dem Auge kommende Licht muß also entweder die Gestalt eines Cylinders, oder eines Kegels haben. Die Gestalt eines Cylinders kann es aber nicht haben, weil alsdann das, was wir jedesmal sehen, nur von gleicher Größe mit der Pupille sein würde. Das Licht muß daher die Gestalt eines Kegels annehmen.

In dem Folgenden widerlegt Heliodor den Euklides, der in seiner Optik Theor. 1. sagt, daß man nichts von dem, was man sehe, zugleich ganz übersehen könne. Man übersehe allerdings das, was man erblicke, zugleich ganz, aber nicht überall mit gleicher Deutlichkeit. In der Nähe der Achse des Gesichtskegels sehen wir nämlich deutlicher, als in einiger Entfernung von derselben.

Die Fortpflanzung des Augen- und des Sonnenlichtes bis in die äußersten Räume des Himmelsgewölbes geschieht augenblicklich. Denn so wie wir, nachdem die Sonne durch eine Wolke verdeckt war, in demselben Augenblicke, wenn die Wolke vorübergegangen ist, durch das Licht der Sonne erreicht werden, so erblicken auch wir, sobald wir nur den Blick nach oben werfen, sogleich den Himmel.

Die wichtigste Stelle der ganzen Schrift, die gegen das Ende derselben vorkommt, ist wol folgende: Der Mechaniker Hero hat in seiner Katoptrik gezeigt, daß die Linien, die unter gleichen Winkeln von einer Oberfläche zurückgeworfen werden, kleiner sind, als alle anderen, die unter ungleichen Winkeln zwischen denselben Punkten gezogen werden, so daß, wenn die

Natur

Natur die Lichtstrahlen keinen vergeblichen Umweg wolle machen lassen, dieselben unter gleichen Winkeln müßten zurückgeworfen werden *).

### Von den Brennspiegeln des Archimedes.

Das letzte Theorem der Euklideischen Katoptrik führt mich auf eine der interessantesten Untersuchungen in der Geschichte der Griechischen Optik, auf die Frage nämlich, in wie weit den Nachrichten, welche man von den Brennspiegeln des Archimedes erzählt, Glauben beizumessen sei. Die frühesten Quellen hierüber sind eine Schrift des Galen de temperamentis, eine Stelle im Hippias des Lucian, und ein Fragment des Anthemius, von welchem leider! nur noch wenige Seiten, und dazu mit vielen Lücken vorhanden sind. Es befindet sich dasselbe, aus vier Manuscripten durch Dupuy verglichen, unter dem Titel der mechanischen Paradoxen im 42sten Bande der histoire de l'académie royale des inscriptions pag. 400 u. d. f. Anthemius lebte zur Zeit des Kaisers Justinian I., unter dessen Regierung er in der ersten Hälfte des sechsten Jahrhunderts n. Chr. die Sophien-Kirche in Konstantinopel wieder aufbaute. Nach den noch vorhandenen Überresten dieses Tempels kann man nicht umhin, in das Urtheil des Procop einzustimmen, der de aedif. Justin. lib. I. cap. 1. von Anthemius sagt: Ἀνθέμιος δὲ Τραλλιανὸς, ἐπὶ σοφίᾳ τῇ καλουμένῃ μηχανικῇ λογιώτατος οὐ τῶν κατ' αὐτὸν μόνον ἁπάντων, ἀλλὰ τῶν αὐτοῦ προγεγενημένων πολλῷ etc. etc.

Das Fragment enthält vier Probleme, von denen das erste ist: An einen gegebenen Ort zu jeder Stunde und Jahreszeit einen unveränderlichen (ἀμετακίνητον) Sonnenstrahl einfallen zu lassen. Das zweite ist: Eine Maschine zu konstruiren, welche bis an einen gegebenen Ort, der bis auf die Schußweite eines Bogens entfernt ist, mittelst der Sonnenstrahlen zu zünden vermag.

Anthemius äußert seine Zweifel an der Ausführbarkeit dieses Problems, sobald man sich nur eines einzigen Spiegels bedienen wollte, theils, weil alsdann die Sonne, der anzuzündende Gegenstand und der Spiegel immer in einer geraden Linie sein müßten, theils auch, weil die Größe des Spiegels von der Entfernung, in welcher die Entzündung erfolgen soll, abhängig sei. „Um jedoch, so fährt er fort, den Ruhm des Archimedes, der nach dem einstimmigen Urtheile Aller die feindlichen Schiffe mittelst der Sonnenstrahlen verbrannte, nicht zu schmälern, so dürfen wir die Ausführbarkeit des Problems nicht völlig bezweifeln. Was mich betrifft, so will ich, der ich die Sache mit der größten Sorgfalt erwogen habe, meine Gedanken über die Einrichtung einer solchen Maschine mittheilen."

Es folgt alsdann die Aufgabe: Einen ebenen Spiegel so zu stellen, daß, in welcher Richtung auch ein Sonnenstrahl nach einem gegebenen Punkte desselben einfallen mag, dieser Strahl nach einem anderen, gleichfalls gegebenen Punkte reflektirt werde. Anthemius giebt

*) Der Beweis des angeführten Satzes ist folgender: Es sei B der Punkt, von welchem ein Lichtstrahl ausgeht, C der Punkt, nach welchem er reflektirt wird, die rechtwinklig auf der reflektirenden Ebene stehende Ordinate BD von B heiße m, und die Ordinate CE von C sei n. Es ist das minimum der Summe der beiden Linien, die von B und C nach irgend einem Punkte A der Ebene DE gezogen werden, zu finden. Setzen wir $DA = x$, $AE = a - x$ und $BA + AC = S$, so ist $S = (m^2 + x^2)^{\frac{1}{2}} + (n^2 + (a - x)^2)^{\frac{1}{2}}$, und wenn das erste Differential von S gleich Null gesetzt wird:

$$x^2 (n^2 + (a - x)^2) = (a - x)^2 (m^2 + x^2), \text{ oder } nx = (a - x)m.$$

Das zweite Differential von S ist positiv.

die bekannte Auflösung dieses Problems. Es sei, sagt er, A der gegebene Punkt des Spiegels, und BA ein beliebiger Strahl. Man ziehe aus A nach dem anderen gegebenen Punkte Γ eine Linie, halbire den Winkel BAΓ durch die Linie AΔ, und stelle den Spiegel so, daß AΔ winkelrecht auf demselben steht.

Die Entzündung kann aber nur, so fährt Anthemius fort, durch viele Sonnenstrahlen, welche sich in einem und demselben Punkte durchkreuzen, bewirkt werden, und dies läßt sich mit Hilfe mehrerer Personen, welche die ebenen Spiegel in der angegebenen Stellung halten, bewerkstelligen. Um jedoch die Weitläufigkeit, welche dies verursachen würde, zu beseitigen, schlägt er vor, mehrere ebene Spiegel von gleicher Größe, in Gestalt regulärer Sechsecke, so zusammenzusetzen, daß je zwei Seiten ihrer Länge nach an einander stoßen, die kleinen Durchmesser jeder zwei Spiegel also in demselben Punkte zusammentreffen, und daß sich die Spiegel durch Scharniere, die rückwärts angebracht sind, in jede beliebige Stellung bringen lassen. Indem man so den übrigen Spiegeln die erforderliche Neigung gegen den mittleren giebt, wird man die von allen reflektirten Strahlen in einem Punkte vereinigen können. Anthemius fügt die Vermuthung hinzu, daß die Brennspiegel des Archimedes von keiner anderen, als der hier angegebenen Konstruktion gewesen sein können, indem selbst diejenigen, welche des göttlichen Archimedes erwähnen, nicht ausdrücklich sagen, daß er sich eines einzigen Spiegels bedient habe.

Gegen das Ende des Fragmentes zeigt Anthemius, nach welchem Kegelschnitte der Brennspiegel konstruirt werden müsse. Es sind aber nur wenige Zeilen der Auflösung vorhanden, und der Beweis ist auch nicht vollendet.

Früher noch, als Anthemius, erwähnt Galen*) de temperamentis lib. III. cap. 2. der Brennspiegel des Archimedes. Es heißt hier: „So aber, wie ich glaube, soll auch Archimedes die Flotte der Feinde durch Zündmaschinen (διὰ τῶν πυρίων) verbrannt haben. Von einer Zündmaschine wird aber auch leicht Wolle, Werg, ein Docht, das Mark des Gertenstrauches, und überhaupt Alles, was auf ähnliche Weise trocken und schwammicht ist, entzündet.“

Zu den frühesten Quellen gehört ferner eine Stelle im Hippias des Lucian**), in welcher er den Archimedes τὸν τὰς τῶν πολεμίων τριήρεις καταφλέξαντα τῇ τέχνῃ, einen, der die feindliche Flotte durch Kunst verbrannt habe, nennt.

Viel später sind die Nachrichten, welche hierüber durch Zonaras und Tzetzes, Schriftsteller des zwölften Jahrhunderts nach Chr., mitgetheilt werden. Der erstere erzählt***), Marcellus würde sich der Stadt Syrakus, deren Mauern er zu Wasser und zu Lande angriff, sehr leicht bemächtigt haben, wenn ihm nicht die Maschinen des Archimedes Widerstand geleistet hätten. Denn dieser warf nicht nur Steine auf die römischen Schiffe, sondern er zog sie selbst mittelst seiner Maschinen in die Höhe, ließ sie dann plötzlich in das Meer fallen, und versenkte sie so. Endlich aber verbrannte er auf eine bewunde-

*) Galen wurde geb. 113 n. Chr. zu Pergamus in Kleinasien.

**) In der Ausgabe von Hemsterhuis und Reitz, tom. VII. pag. 295. Lucian lebte unter den Antoninen im zweiten Jahrhundert n. Chr.

***) In der Baseler Ausgabe 1557. Annal. tom. II. pag. 83.

rungswürdige Weise die ganze Flotte der Römer; denn indem er einen Spiegel gegen die Sonne hielt, und die Sonnenstrahlen mit demselben auffing, entzündete er wegen der Dichtigkeit und Politur des Spiegels durch diese die Luft, erregte eine große Hitze, warf diese auf die Schiffe, und verbrannte sie alle.

Derselbe Zonaras berichtet*), daß unter der Regierung des Kaisers Anastasius (491 bis 518) der Feldherr Vitalianus, der sich mit den Mysiern und Scythen verband, einen Aufruhr erregt, auf dem Byzantinischen Gebiete Beute gemacht, und endlich Konstantinopel mit einer Flotte belagert habe. Diese Flotte sei aber durch Proklus, der nicht nur die Maschinen des Archimedes gekannt, sondern auch neue erfunden habe, zerstört worden. Proklus habe nämlich Brennspiegel (κάτοπτρα πυρφόρα) aus Erz verfertigt, und sie an der Mauer, den feindlichen Schiffen gegenüber, aufgehängt. Da die Sonnenstrahlen auf diese fielen, habe das gleich dem Blitze hervorbrechende Feuer die Schiffe der Feinde verbrannt, was einst auch, wie Dio erzählt, Archimedes that, als die Römer Syrakus belagerten.

Übereinstimmend mit diesen Nachrichten erwähnt auch Tzetzes**), daß Archimedes die Flotte des Marcellus durch Brennspiegel vernichtet habe. Er beruft sich besonders auf das Zeugniß des Anthemius, und außer diesem auf den Dio, Diodorus, Hero, Philo und Pappus***). Leider! aber sind bis auf das Fragment des Anthemius die übrigen, diese Nachrichten enthaltenden Schriften verloren gegangen.

Um so auffallender ist es, daß gerade die glaubwürdigsten Geschichtschreiber, Livius, Plutarch und Polybius, der letztere beinahe ein Zeitgenosse des Archimedes, der die Belagerung von Syrakus aufs ausführlichste beschreibt****), mit keiner Sylbe der Brennspiegel des Archimedes erwähnen. Eben dieser Umstand ist es besonders, der gegen diese ganze, nur von späteren Schriftstellern mitgetheilte Sage Zweifel erregt, und mancherlei Untersuchungen über die Glaubwürdigkeit derselben veranlaßt hat†).

Um in den Stand gesetzt zu werden, über jene That des Archimedes ein begründetes Urtheil fällen zu können, scheint die Erwägung dreier Fragen nöthig zu werden, nämlich:

1) Ob es möglich sei, in größeren Entfernungen mit einem Brennspiegel zu zünden?

2) Ob die physikalischen Kenntnisse, welche Archimedes durch sonstige Schriften und Thaten bewährte, von der Art waren, daß man ihm den Bau eines Spiegels, der auf größere Abstände zu zünden vermag, zumuthen darf?

---

*) Annal. tom. III., pag. 46.
**) Chil. II. 119. sqq. Chil. IV. 35. Chil. XI. 596.
***) Chil. II. 149. sqq.
****) Hist. lib. VIII. cap. 7—9.
†) Unter den vielen Vertheidigern der Wahrheit jener, die Brennspiegel des Archimedes betreffenden Sagen, nenne ich besonders: J. Georg. Liebknecht, diatribe academica de speculis causticis. Jenae 1704. Ferner Segner de speculis Archimedeis tentamen. Jenae 1732. Endlich aus der neuesten Zeit: die Preisschrift des Joh. Pet. van Capelle, übersetzt in Gilbert's Annalen, Bd. 53. S. 242 u. d. f. Zweifel gegen die Wahrheit jener Sage sind unter anderen erhoben von Joh. Christ. Bischof in der Schrift: Ob Archimedes die römische Flotte durch Brennspiegel verbrannt habe, Stettin, 1758. Auch J. Fr. Falus in seiner Einladungsschrift z. F. d. Stift. des Gymnasiums zu Koburg, 1801, stellt die Vermuthung auf, daß wahrscheinlich die Brennspiegel des Proklus jene Sagen vom Archimedes veranlaßt hätten, daß aber Archimedes allerdings versucht haben könne, die römische Flotte auf irgend eine andere Weise in Brand zu stecken.

3) Ob jene That des Archimedes durch das Zeugniß glaubwürdiger Schriftsteller verbürgt werde?

Die Beantwortung der ersten Frage ist schon lange keinem Zweifel mehr unterworfen. Gesetzt auch, die Römischen Schiffe hätten sich den Mauern von Syrakus bis auf dreißig Schritte*) nähern können, wovon sich Athanasius Kircher, der unter den Deutschen zuerst eine genauere Untersuchung über diesen Gegenstand anstellte, bei einer nach Sicilien unternommenen Reise überzeugte, so ist doch selbst unseren so weit vorgeschrittenen optischen Vorrichtungen die Konstruktion eines einzigen Spiegels von solcher Brennweite unausführbar. Der Brennraum des Spiegels ist nämlich ein Kreis, der die Sehne eines Bogens von 16′ zum Halbmesser hat. Je größer nun die Brennweite wird, desto größer wird auch dieser Bogen, so daß die Sonnenstrahlen nicht anders in hinlänglicher Dichtigkeit im Brennraume vorhanden sind, als wenn dem Spiegel eine dem vergrößerten Brennraume verhältnißmäßige Größe gegeben wird. Bei dem großen Spiegel der Pariser Akademie beträgt sowol die Chorde, als auch die Brennweite 3 Fuß: der Halbmesser des Brennraumes hat also 2,01 Linien. Wollte man nun einen Brennspiegel, der bei einer Brennweite von 30 Schritt oder 60 Fuß die Sonnenstrahlen eben so stark verdichtete, verfertigen, so müßte man ihm eine Chorde von 60 Fuß geben — eine Aufgabe, die der Kunst unlösbar bleiben wird**). Auch dürfen wir nicht übersehen, woran schon Anthemius erinnerte, daß die Sonne und der anzuzündende Gegenstand in der Achse des Spiegels gelegen sein müssen, und daß ein einziger Spiegel immer nur bis auf einen bestimmten Abstand zündet, um uns vollkommen zu überzeugen, daß weder Archimedes mit einem solchen Spiegel die Römische Flotte vernichtet habe, noch daß es überhaupt möglich sei, auf bedeutendere Entfernungen damit zu zünden.

---

*) In Gasparis Schotti, soc. Jesu, magia universalis naturae et artis, Herbipoli, 1657, habe ich in dem ersten, die Optik betreffenden Theile pag. 417 folgende Stelle gefunden: Varie, nec minus hyperbolice et ingenti cum exaggeratione in hac re loquuntur scriptores. Philippus Cluverius in Sicilia antiqua ait, naves combustas ad distantiam trium millium passuum; Diodorus Siculus ad tria stadia, hoc est, passus trecentos septuaginta quinque; Tzetzes, ut praecedenti §. vidimus, ad jactum sagittae; jactus autem sagittae pro arcuum varietate diversissimus est; fortiores arcus sagittam ad 200 passus ut plurimum projiciunt, alii majori, alii minori spatio. P. Athanasius Kircherus, dum Syracusas transiret, in Melitam navigaturus, locum, ex quo Archimedes ope speculorum naves combussisse traditur, diligenter examinavit, reperitque spatium multo minus esse, quam auctores tradunt, videlicet immediate ad moenia illius urbis partis ex quatuor, quam antiquitus Acradinam vocabant, et hodie non amplius extat. Unde collegit, combustionem illam possibilem fuisse, lineamque causticam fuisse triginta passuum ad summum, non amplius.

**) Bezeichnet man die Chorde des Spiegels mit ch, und die Brennweite mit p, so ist die Höhe des Spiegel-Segmentes $= 2p - \frac{1}{2}(16p^2 - ch^2)^{\frac{1}{2}}$, mithin sein Inhalt $= 8p^2\pi - 2p\pi(16p^2 - ch^2)^{\frac{1}{2}}$, der Inhalt des Brennraumes ist $\pi p^2 \sin. 16'^2$, daher die Dichtigkeit des Lichtes im Brennraume $= \frac{8p - 2(16p^2 - ch^2)^{\frac{1}{2}}}{p \sin. 16'^2} = 92328\left(4 - \sqrt{16 - \left(\frac{ch}{p}\right)^2}\right)$, die Dichtigkeit des einfachen Sonnenlichtes $= 1$ gesetzt. Dies giebt für den obigen Spiegel die Dichtigkeit des Lichtes im Brennraume $= 11725$. Hierbei ist aber noch nicht die bei einem so großen Spiegel sehr bedeutende Abweichung wegen der Gestalt, durch welche die Dichtigkeit des Brennraumes viel geringer werden wird, in Rechnung gebracht. Die Abweichung wegen der Gestalt, die für den Mittelpunkt der Sonne durch die Formel $0{,}03125\frac{ch^2}{p}$ angegeben wird, würde für den obigen Spiegel 1,875 Fuß betragen.

Ganz anders aber fällt die Antwort auf jene Frage aus, wenn wir annehmen, daß Archimedes seinen Spiegel nach der Theorie des Anthemius konstruirt, daß er ihn nämlich aus ebenen, durch Schaniere beweglichen Spiegeln zusammengesetzt habe. Was Tzetzes in der schon angeführten Stelle (Chil. II. 199. sqq.) von der Einrichtung des Spiegels, durch welchen Archimedes die Flotte verbrannte, mittheilt, scheint nur aus einem Mißverständniß des Anthemius hervorgegangen zu sein. Er erzählt hier, Archimedes habe einen größeren sechseckigen ebenen Spiegel mit kleineren 24eckigen durch Platten und Scharniere umgeben, und den mittleren den Sonnenstrahlen ausgesetzt, in der Richtung des Meridians, der durch die beiden Solstitien geht. Anthemius spricht in dem ersten seiner Probleme vom Meridian und von dem Stande der Sonne im Winter und Sommer, in dem dritten Probleme aber behauptet er, daß mindestens 24 zurückgeworfene Strahlen zur Ansteckung eines leicht entzündlichen Gegenstandes erfordert würden. Durch eine Verwechselung dieser Zahlen scheint Tzetzes zu jener, überhaupt von gar keiner Sachkenntniß zeugenden Beschreibung gekommen zu sein.

Ohne die Theorie des Anthemius zu kennen, machten Vitello gegen das Ende des 13ten Jahrhunderts und Athanasius Kircher in seiner ars magna lucis et umbrae 1646. Vorschläge zur Einrichtung eines Brennspiegels, der auf größere Abstände zünden sollte. Vitello verbindet mehrere ebene Spiegel etwa von dreieckiger Gestalt so, daß sie mit ihren Mittelpunkten die Oberfläche einer Kugel berühren würden. Indem die Strahlen eines leuchtenden Punktes winkelrecht auf diese Spiegel fallen, sollen sie alle nach dem Mittelpunkte der Kugel hin reflektirt werden. Man sieht aber leicht, daß die Strahlen, wenn sich der leuchtende Punkt nicht gerade in dem Mittelpunkte der Kugel befindet, nur den Mittelpunkt eines einzigen Spiegels winkelrecht treffen können, und daß daher auch nur ein geringer Theil der Sonnenstrahlen nach dem Mittelpunkte der Kugel reflektirt werden könne. Athanasius Kircher dagegen ging von der Voraussetzung aus, daß das Sonnenlicht in demselben Verhältnisse verdichtet werden müsse, in welchem die Zahl der ebenen Spiegel, welche dieses Licht nach derselben Stelle hinwerfen, vermehrt wird. Er stellte den Versuch mit fünf Spiegeln in einer Entfernung von 100 Fuß an, und schloß aus der Wärme, die er durch diese Spiegel hervorgebracht fand, daß es möglich sein müsse, durch Hinzufügung mehrerer Spiegel nicht nur in dieser Entfernung, sondern in viel größeren Abständen zu zünden.

Erst dem um die Naturwissenschaften so hochverdienten Grafen Buffon gelang es, die Idee des Anthemius im Großen auszuführen, und ganz unerwartete Wirkungen so eingerichteter Brennspiegel zu erhalten. Er selbst behauptet jedoch, die Gedanken der Alten über die Einrichtung solcher Spiegel nicht gekannt zu haben, während er mit der Verfertigung derselben beschäftigt war*). Er ging dabei theils von den schon durch Kircher gemachten Voraussetzungen, theils aber von den aus der Theorie und Erfahrung bekannten Wirkungen der ebenen Spiegel aus. Die von dem obersten und untersten Rande der Sonne auf denselben Punkt des Spiegels fallenden Strahlen bilden nämlich einen Winkel von 32 Minuten,

*) Supplément à l'histoire naturelle tom. I., pag. 422 sagt er: Pendant le temps, que je travaillois à ces miroirs, j'ignorois le détail de tout ce, qu'en ont dit les anciens; mais après avoir réussi à les faire, je fus bien aise de m'en instruire.

und behalten auch nach der Reflexion diese Neigung bei, so daß das geometrische Bild der Sonne gleichfalls unter einem Winkel von 32 Minuten erscheint; die aber von einem Punkte der Sonne auf alle Punkte des Spiegels fallenden Strahlen werden so zurückgeworfen, daß sie alle auf den entsprechenden Punkt des Bildes gerichtet sind. Das aufgefangene reflektirte Sonnenlicht wird daher in der Nähe des Spiegels von der Gestalt desselben abhängig sein, und erst in größeren Entfernungen, wo die Strahlen stärker zerstreut werden, rund erscheinen. Buffon setzte, von solchen Voraussetzungen geleitet, einen Brennspiegel aus 168 ebenen Glasspiegeln, von denen jeder 6 Zoll hoch und 8 Zoll breit war, und sich für sich allein bewegen ließ, zusammen; die ganze Maschine war 7 Fuß breit und 8 Fuß hoch. Es wurde etwa eine halbe Stunde erfordert, um die Spiegel so zu stellen, daß sie alle das Sonnenlicht nach derselben Stelle hin warfen. Den 4ten April 1747 um 11 Uhr Morgens brachte er bei schwachem Sonnenlichte mit 154 Spiegeln eine so hohe Temperatur hervor, daß ein getheertes Brett von Tannenholz in einer Entfernung von 150 Fuß in weniger als zwei Minuten zu rauchen anfing. Den 10ten April des Nachmittags wurde dasselbe Brett in derselben Entfernung bei hellem Sonnenscheine mit 128 Spiegeln augenblicklich entzündet. In einem Abstande von 20 Fuß wurde mit 45 Spiegeln Zinn geschmolzen, und Eisenblech zum Glühen gebracht; ja es gelang, mit 117 Spiegeln kleine Stücke Silber zu schmelzen. In der Folge hat er sogar Holz auf 200 Fuß angezündet; Zinn auf 150 Fuß, Blei auf 180 und Silber auf 60 Fuß geschmolzen*). Man kann übrigens mit einem so eingerichteten Spiegel nicht nur in horizontaler Richtung zünden, sondern auch nach oben oder unten hin, je nachdem das Licht anders einfällt.

Was die zweite Frage betrifft, ob Archimedes nach dem Zustande der Optik seiner Zeit einen Spiegel, wie ihn Anthemius angiebt, habe verfertigen können, so kann das Urtheil auch hier nur zu Gunsten des ersteren ausfallen. Schon aus dem in dieser Abhandlung Mitgetheilten geht hervor, daß den Alten die Hauptsätze der Katoptrik, insofern sie die Metallspiegel betreffen, bekannt waren, daß die neuere Zeit hier nur statt der geometrischen Konstruktionen die leichtere algebraische Methode einzuführen, und die Theorie durch die Entdeckung der Abweichung wegen der Gestalt zu bereichern hatte. Wenn man nun gleich gewohnt ist, nur von des Archimedes Kenntnissen in der Geometrie und Mechanik mit Bewunderung zu reden, so unterliegt es doch keinem Zweifel, daß er auch die Optik zum Gegenstande seiner Forschungen gemacht habe. Theon, der Kommentator des Ptolemäus, erwähnt einer Katoptrik des Archimedes**), auch erklärt Apulejus***), daß er unschlüssig sei, ob er dem Archimedes wegen seiner geometrischen Kenntnisse, oder wegen seiner Forschungen in der Katoptrik den Preis ertheilen solle. Eine unter dem Titel: Antiqui scriptoris libellus de speculo comburenti concavitatis parabolae durch Antonius Gongava aus dem Arabischen übersetzte Abhandlung wird zwar von Einigen dem Archimedes zugeschrie-

---

*) Man findet diese Nachrichten in dem Mém. de l'acad. des sc. 1747 u. 1748.

**) Ad Ptolemaeum. Basileae 1538. pag. 10.

***) Apologia ed. Julianus Floridus. Paris 1688. pag. 428.

den, Andere aber sehen, wie es scheint, mit größerem Rechte den Ptolemäus als ihren Verfasser an; sie pflegt daher auch den Werken des letzteren hinzugefügt zu werden.

Was endlich die dritte Frage betrifft, ob jene That des Archimedes auch historisch begründet sei, so wird ihre Beantwortung so lange unentschieden bleiben, bis es gelingen sollte, die verloren gegangenen Schriften, auf welche sich die späteren Geschichtschreiber berufen, wieder aufzufinden. Und selbst in diesem Falle dürfte das Schweigen des Polybius über diese damals unerhörten Leistungen der Optik den Zweiflern immer noch einen sehr triftigen Grund übrig lassen. Auch wird es unbegreiflich bleiben, wie Archimedes der ganzen Flotte einen beträchtlichen Schaden durch Brennspiegel habe zufügen können, da die Entzündung auch nur eines einzigen Schiffes der Vorrichtungen genug erfordert, um den übrigen Zeit zur Flucht zu lassen; es wäre denn, daß der Brand eines Schiffes, durch günstige Umstände für die Belagerten, sich schnell auch den übrigen mitgetheilt habe. In der That geht aus der Beschreibung, welche Livius*) und Plutarch**) von der Belagerung von Syrakus geben, hervor, daß die Römischen Schiffe nahe an einander und beinahe unter den Mauern des Theiles von Syrakus, welcher Achradina hieß, gestanden haben. Syrakus hat zwei Hafen, die durch die Insel Ortygia gebildet werden, von denen der bei weitem kleinere die Mauern von Achradina unmittelbar bespülte. Wenn nun Plutarch erzählt, daß Archimedes mittelst einer Maschine, die Sambuca genannt wird, Steine von 10 Talenten an Gewicht auf die feindliche Flotte geworfen habe, so ist nicht zu bezweifeln, daß so ungeheure Massen, die mehr als [illegible] Centner schwer waren, nur aus geringen Entfernungen geschleudert werden konnten. Doch läßt sich hierbei wieder das Bedenken nicht unterdrücken, warum nicht Archimedes die Schiffe, die ihm so nahe waren, lieber auf andere Weise, als durch die künstliche und so unsichere Hilfe der Brennspiegel entzündet habe. Für die Ansicht derer, welche zwar einräumen, daß Archimedes die Schiffe verbrannt haben könne, daß dies aber nicht durch Brennspiegel geschehen sei, sprechen selbst die frühesten Quellen. In der angeführten Schrift des Galen ist nur im Allgemeinen von Zündmaschinen die Rede; auch Lucian behauptet nur, die Schiffe seien durch Kunst verbrannt. Denkt man dagegen an die anderen glaubwürdigen Namen, an welche sich jene Nachrichten knüpfen, so scheint es unmöglich, aus diesem Labyrinthe der Gründe und Gegengründe zu einem sicheren Schlusse zu gelangen. Ich meines Theils halte die dem Archimedes zugeschriebene That für unwahrscheinlich. Man war gewohnt, bei dem Namen Archimedes an einen Mann zu denken, der das unmöglich Scheinende so oft schon möglich gemacht hatte. Hörte man nun, daß er die römische Flotte nicht nur durch die Allgewalt seiner Maschinen, sondern auch durch Feuer zu vertilgen gesucht habe, so war man gleich geneigt, ihm die künstlichste Weise, wie er dies bewerkstelligen konnte, zuzumachen.

Auf viel unsicherern Gründen beruht unstreitig die den Proklus betreffende Nachricht. Nicht allein, daß sich Alles, was gegen den Syrakusanischen Mathematiker gesagt ist, gegen ihn wiederholen läßt, so fehlt es hier auch gänzlich an glaubwürdigen Nachrichten, auch er-

*) Lib. XXIV. cap. 21. sqq.

**) In der Biographie des Marcellus.

wähnt Anthemius, der nicht lange nach ihm lebte, nirgends seiner Brennspiegel, sondern er stellt seine Theorie überall als das Resultat eigener Forschung auf.

Wie dem auch sei, so ist wenigstens so viel als ausgemacht anzusehen, daß die Entdeckung, auf größere Entfernungen mit Spiegeln zu zünden, dem Alterthume gebühre, sei es nun, daß sie schon durch Archimedes, oder erst in späterer Zeit durch Anthemius gemacht wurde.

Ich hoffe, daß die hier gegebene Übersicht dessen, was in dem Gebiete der Optik von den Griechen geleistet ist, für den Kenner der Physik nicht ganz ohne Interesse sein werde, zumal da in dem einzigen Werke, das hierüber Auskunft geben könnte, in Priestley's Geschichte der Optik, gerade dieser Abschnitt sehr unvollständig bearbeitet ist. Den hier angeführten Werken weiß ich nur noch eine optische Schrift des Eudoxus von Knidos, eines Zeitgenossen des Plato, deren Hipparch erwähnt, die aber verloren gegangen ist, und die optischen Schriften des Hero von Alexandrien (um 150 v. Chr.) hinzuzufügen. Der Katoptrik des Hero erwähnt Heliodor; eine Dioptrik eben dieses Verfassers soll in der Kaiserlichen Bibliothek in Wien im Manuscripte vorhanden sein.

---

Zum Schlusse dieser Abhandlung erwähne ich der vielfachen Veränderungen, welche der physikalische Unterricht auf unserem Gymnasium in den letzten Jahren erfahren hat, nur mit wenigen Worten. Der Unterricht in der Experimental-Physik beschränkte sich nach dem früheren Lectionsplane nur auf Prima. Jetzt beginnt dieser Unterricht schon in Groß-Tertia, und es wird mir dadurch nicht allein möglich, denselben binnen anderthalb Jahren in Prima zu vollenden, sondern auch die Elemente der Chemie in den Kursus mit aufzunehmen. Auch hat der physikalische Apparat, der sich schon früher durch seine Vollständigkeit und die Güte der Instrumente auszeichnete, durch die Fürsorge des Wohllöblichen Streitischen Direktoriums wieder manche sehr schätzbare Bereicherung erhalten. Um nur der kostbareren Instrumente zu erwähnen, so wurden im Laufe der beiden letzten Jahre angeschafft: Eine kleinere Elektrisir-Maschine, ein Bohnenbergersches Elektrometer, Oerstedt's Kompressions-Apparat, eine astatische Nadel, ein sogenanntes offenes Fernrohr, eine laterna magica, deren Bilder bei einer Höhe von zehn Fuß noch sehr deutlich sind, ein Gasometer und vieles andere, zum chemischen Apparate Gehörige. Auch ist durch die Anschaffung neuer Spinden für eine bessere Aufbewahrung und zweckmäßigere Aufstellung des ganzen Apparates mit einem bedeutenden Kostenaufwande gesorgt worden. Vor Allem aber gedenke ich der schönen für den physikalischen Unterricht bestimmten Räume, welche der Hochlöbliche Magistrat, als Patron unserer Anstalt, uns geschenkt hat, nicht ohne das Gefühl der innigsten Dankbarkeit. Ja selbst für den Unterricht in der Astronomie ist unter Mitwirkung des Wohllöblichen Streitischen Direktoriums, welches die Kosten dazu hergab, durch einen Altan gesorgt worden, dessen wünschenswerthe Benutzung aber, bei dem Mangel an astronomischen Instrumenten, einer späteren Zeit vorbehalten bleiben muß. Bei solchen Aufforderungen